ISSN 2073-1523

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

Известия КГАСУ

2019 г., № 4 (50)

ББК 38
И 33
УДК 69

Главный редактор: д-р техн. наук, проф. чл.-корр. АН РТ Р.К. Низамов
Зам. главного редактора: канд. техн. наук, доц. Е.А. Вдовин

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Айдарова Г.Н., д-р арх., проф. советник РААСН;
Гагарин В.Г., д-р техн. наук, проф. чл.-корр. РААСН;
Горячев М.Г., д-р техн. наук, проф.;
Есаулов Г.В., д-р арх., проф., академик РААСН;
Ильичев В.А., д-р техн. наук, проф., первый вице-президент РААСН;
Каюмов Р.А., д-р физ.-мат. наук, проф.;
Кичигин В.И., д-р техн. наук, проф.;
Королев Е.В., д-р техн. наук, проф.;
Кочев А.Г., д-р техн. наук, проф.;
Логачев К.И., д-р техн. наук, проф.;
Мирсаяпов И.Т., д-р техн. наук, проф.;
Мирсаяпов Ил.Т., д-р техн. наук, проф.;
Стрелков А.К., д-р техн. наук, проф.;
Строганов В.Ф., д-р хим. наук, проф., почетный член РААСН;
Сулейманов А.М., д-р техн. наук, проф. чл.-корр. АН РТ;
Тунакова Ю.А., д-р хим. наук, проф.;
Углова Е.В., д-р техн. наук, проф.;
Хозин В.Г., д-р техн. наук, проф.;
Шагидуллин Р.Р., д-р хим. наук, чл.-корр. АН РТ;
Яковлев Г.И., д-р техн. наук, проф.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Рольф Катценбах, д-р техн. наук, проф. (Германия);
Фиговский О.Л., д-р техн. наук, проф., член Европейской АН, иностранный член РААСН (Израиль);
Фишер Х.-Б., доктор-инженер (Германия);
Хассан Абдалла, д-р наук (PhD), проф. (Великобритания);
Янотка И., д-р техн. наук, с.н.с. (Словакия).

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, определяемый Высшей аттестационной комиссией (ВАК), рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Статьи рецензируются. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-25136 от 20 июля 2006 г.). Включен в общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ», индекс издания – 36939.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, ком. 79
Тел. (843) 510-46-39, факс (843) 238-37-71
E-mail: patent@kgasu.ru Сайт: http://izvestija.kgasu.ru

© Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2019

ISSN 2073-1523

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

KAZAN STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING

MINISTRY OF CONSTRUCTION, ARCHITECTURE AND HOUSING
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

MINISTRY OF TRANSPORT AND ROADS
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

News of the KSUAE
2019, № 4 (50)

BBC 38
I 33
UDC 69

Editor-in-Chief: Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT Nizamov R.K.
Deputy Editor-in-Chief: Cand. tech. sci., associate prof. Vdovin E.A.

EDITORIAL BOARD:

Aidarova G.N. Dr. arch. sci., prof., advisor of RAACS;
Gagarin V.G., Dr. tech. sci., prof. corr.-m. of RAACS;
Goriachev M.G., Dr. tech. sci., prof.;
Esaulov G.V., Dr. arch. sci., prof., member of the Academy of RAACS;
Ilichev V.A., Dr. tech. sci., prof., First Vice President of RAACS;
Kayumov R.A., Dr. phys-mat. sci., prof.;
Kichigin V.I., Dr. tech. sci., prof.;
Korolev E.V., Dr. tech. sci., prof.;
Kochev A.G, Dr. tech. sci., prof.;
Logachev K.I., Dr. tech. sci., prof.;
Mirsayapov I.T., Dr. tech. sci., prof.;
Mirsayapov Il.T., Dr. tech. sci., prof.;
Strelkov A.K., Dr. tech. sci., prof.;
Stroganov V.F., Dr. chem. sci., prof., honorary m. of RAACS;
Suleimanov A.M., Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT;
Tunakova Iu.A., Dr. chem. sci., prof.;
Uglova E.V., Dr. tech. sci., prof.;
Khozin V.G., Dr. tech. sci., prof.;
Shagidullin R.R., Dr. chem. sci., corr.-m. AS RT;
Iakovlev G.I., Dr. tech. sci., prof.

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

Rolf Katzenbach, Dr. tech. sci., prof. (Germany);
Figovskiy O.L., Dr. tech. sci., prof., member of EAS, foreign member of RAACS (Israel);
Fischer H.-B., Dr.-Ing (Germany);
Hassan Abdalla, PhD, prof. (Great Britain);
Janotka I., Dr. tech. sci., head of unit (Slovakia).

THE FOUNDER AND THE PUBLISHER:
FSBEI of HE «Kazan State University of Architecture and Engineering»

The journal is included in the index of leading reviewed scientific journals and editions, defined by the Higher Attestation Commission, and recommended for publication of basic scientific results of dissertations on scientific degree of the doctor and the candidate of sciences. The articles are reviewed. Reproduction without the permission of editors is prohibited; citing references to the journal are obligatory.

It is registered by Federal agency on surveillance of legislation observance in sphere of mass communications and cultural heritage protection (the certificate on registration PI № FS77-25136, dated July, 20th, 2006). It is included in the all-Russian catalogue of JSC «ROSPECHAT» Agency; subscription number 36939.

EDITORIAL ADDRESS:
420043, Kazan, Zelenaya 1, office 79
Tel. (843) 510-46-39, fax (843) 238-37-71
E-mail: patent@kgasu.ru Web-site: http://izvestija.kgasu.ru

© News of the Kazan State University of Architecture and Engineering, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Аитов Р.Р., Афанасьева Е.А., Токмакова Г.Ю. Принцип чередования цветов как характерная особенность архитектурных традиций казанских татар	7
Зейферт М.Г., Ежов Р.В. Особенности формирования и развития крупных многофункциональных архитектурных комплексов античности	18
Кисельникова Д.Ю. Влияние столичной архитектуры на формирование архитектуры многоквартирных жилых зданий Новосибирска в конце XX-начале XXI вв.	28
Минибаева А.Р., Фазлеев М.Ш., Хайруллина А.Т. Выявление объектов архитектуры, расположенных в саду «Эрмитаж» г. Казани на период начала XX века	39
Надырова Д.А., Аксёнова И.А. Типология многофункциональных доходных комплексов и зданий центральной части Казани в конце XIX-начале XX века	48
Надырова Х.Г., Вавилонская Т.В. Национальная идентичность архитектурно-исторической среды татарских селений Казанского уезда конца XIX-начала XX вв.	61
Попов А.О., Бирюлева Д.К. Градостроительное развитие территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербурга в период с 1800 по 1900 гг.	72
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Галимуллина А.Д., Короткова С.Г. Архитектурные средства формирования детских развивающих и образовательных пространств	79
Гатауллина А.А., Новиков С.В. Архитектурная классификация внутриквартальных пространств казанского Соцгорода	89
Пономарев Е.С., Ившин К.С. Проектная стратегия территориального брендинга	100
Рачкова О.Г., Денисова Е.Д. Решение задач проектирования жилых комплексов при реновации территорий с застройкой 70-х годов в г. Москве	108
Саляхова М.Р., Шульпина Ю.В. К вопросу об актуальности формирования временной архитектуры как способа преобразования общественных пространств в зимнее время	120
Хазиахметова Е.В., Ахтямов И.И., Ахтямова Р.Х. Принципы экологизации архитектурного пространства современной школы	131
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	
Закирова Ю.А., Хмельницкий Д.С. Модель формирования транспортного каркаса Камской агломерации	141
Нуреев Т.М., Попов А.О. Перспективы использования трехлучевой объемно-планировочной структуры при создании жилой сетчатой застройки	154
Степанчук А.В., Саляхова В.М. Некоторые аспекты формирования общественных пространств, как мест коммуникации туристов и местных жителей (на примере г. Арска)	164
Шаймарданова К.А., Прокофьев Е.И. Транспортно-пересадочный узел как градообразующий фактор развития периферийных территорий	175
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	
Замалиев Ф.С. Определение эффективной ширины полки балок монолитного сталежелезобетонного перекрытия	183
Мирсаяпов Ильшат Т., Никитин Г.П., Ханбеков М.Ф., Мирсаяпов А.И. Натурные испытания плитного фундамента под высокоточное оборудование с имитацией работы подвижной части станка поэтапным нагружением	191
Страхов Д.Е., Гиманов Л.Р., Нураев И.А. Исследование снеоблокирующих заграждений фальцевого типа кровли	200
Фабричная К.А., Шарафутдинова К.И. К вопросу усиления сводов (типа «Монье») композитными материалами при реконструкции	210
Хайруллин Л.Р., Мингатин А.Р. Причины возникновения дефектов в панелях типа сэндвич при их производстве на линиях с роликовым термопрессом	220
ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	
Королева И.В., Сагдатова М.Р. Экспериментальные исследования поведения серых глин в условиях трехосного сжатия при разной влажности	228
Кузнецов И.Л., Хусаинов Д.М., Хабибулина А.Г., Пеньковцев С.А. Разработка сборно-разборного фундамента балластного типа для стоечных конструкций	236
Мирсаяпов Илизар Т., Нуриева Д.М., Шакиров И.Ф. Исследование влияния реконструкции 12-ти этажного административного здания на техническое состояние зданий окружающей застройки	245
Мирсаяпов Илизар Т., Шакиров М.И. Расчет осадки основания комбинированных плитно-свайных фундаментов при циклическом нагружении	255
Хасанов Р.Р., Галеев Р.Р. Влияние режима сочетания циклического и статического нагружений на деформации и физико-механические характеристики водонасыщенных суглинистых грунтов	263

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Ахмадиев Ф.Г., Маланичев И.В. Снижение потерь давления в вентиляционных каналах на основе решения задачи структурно-параметрической оптимизации	271
Бройда В.А., Дорофеенко Н.С. Эффективность прямого естественного охлаждения в системе кондиционирования воздуха для помещений со значительными поступлениями тепла	279
Варсегов А.В., Варсегова Е.В., Осипова Л.Э., Садыков Р.А. Зоны поражения при аварийной разгерметизации газопровода	288
Крутова И.А., Золотоносов Я.Д. Змеевиковые теплообменники типа «труба в трубе» на базе пружинно-витых каналов	297
Таймаров М.А., Лавирко Ю.В., Садыков Р.А. Энергосбережение в технологии получения этилового биодизельного топлива из семян рапса	305
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Ефремова Р.Ю. К вопросу удаления из природных вод нефтепродуктов методом сорбции	313
Саинова В.Н., Катков И.С., Хунас Каси Реконструкция сооружений биологической очистки сточных вод с целью интенсификации извлечения биогенных элементов	320
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Богданов Р.Р., Ибрагимов Р.А., Королев Е.В. Оптимизация фракционного состава смеси заполнителей для самоуплотняющегося бетона	327
Камалова З.А., Сагдиев Р.Р., Александрова М.А., Валиев А.И. Разработка метода прогнозирования долговечности трехслойной кровельной конструкции	336
Красиникова Н.М., Иксанова З.Ф. Влияние полисиликата на структурообразование цементного камня	347
Мухаметшина Р.М., Морозов В.И. Металлопокрытия на основе комплексных соединений меди(II) с нитрилотриметиленфосфоновой кислотой	359
Строганов В.Ф., Сагадеев Е.В., Ибрагимов Р.А., Пименов С.И., Стоянов О.В. Исследование влияния модификаторов различной структуры и механоактивации вяжущего на биостойкость цементных композитов	368
Сулейманов А.М., Смирнов Д.С., Лобанова А.С. Метод оценки долговечности набухающей резины для пакеров	376
Халиуллин М.И., Димиева А.И., Файзрахманов И.И. Влияние добавок механоактивированных минеральных наполнителей на свойства композиционных гипсовых вяжущих	386
Шелихов Н.С., Сагдиев Р.Р., Тимиргалеев М.М. Разработка метода оценки долговечности строительных материалов в агрессивных средах	394
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Богданов А.Н., Листратов Я.А. Строительный контроль методом наземного лазерного сканирования	401
Мудров А.Г., Мудрова А.А. Использование регулируемого силового воздействия в строительных технологиях	410
Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р., Гарафиев А.М. Электродный прогрев бетона с применением токопроводящего минерала	418
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Гайфутдинов Р.Ф., Хафизов Э.Р. Апробация существующих методов оценки износостойкости щебня на примере каменных материалов, используемых в Республике Татарстан	427
Мавлиев Л.Ф., Вдовин Е.А., Коновалов Н.В., Хузиахметова К.Р., Шарапова Н.Б. Разработка дорожно-строительного материала на основе обработанной цементом щебеночно-песчаной смеси оптимального гранулометрического состава	435
Майстренко И.Ю., Зиннуров Т.А., Майстренко Т.И., Егорова И.Ю., Ерохин Д.И. Оценка ресурсных показателей автодорожных мостов на основе анализа структурных изменений и накопления повреждений в конструктивных элементах	444
Смирнов Д.С., Броднева В.Е., Лобанова А.С. Анализ опыта применения теплых асфальтобетонных смесей	455
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	462

CONTENTS

ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY, HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION	
Aitov R.R., Afanasyeva E.A., Tokmakova G.Y. The principle of alternating colors as a characteristic feature of Kazan tatar's architectural traditions	7
Zeyfert M.G., Ezhov R.V. Features of the formation and development of large multifunctional architectural complexes of antiquity	18
Kiselnikova D.Y. The influence of metropolitan architecture on the formation of the architecture of apartment buildings in Novosibirsk in the late XX-early XXI centuries	28
Minibaeva A.R., Fazleev M.Sh., Khayrullina A.T. Identification of architectural objects located in Hermitage Garden of the city of Kazan in the beginning of the XXth century	39
Nadyrova D.A., Aksenova I.A. Typology of multifunctional profitable complexes and buildings of the central part of Kazan in the late XIX-early XX century	48
Nadyrova Kh.G., Vavilonskaya T.V. National identity of architectural and historical environment of tatar villages of Kazan district of the late XIX-early XX centuries	61
Popov A.O., Biryuleva D.K. Town-planning development of the territory of the Main Admiralty building complex in Saint Petersburg of the period from 1800 to 1900	72
HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES	
Galimullina A.D., Korotkova S.G. Architectural means of formation of children's developing and educational spaces	79
Gataullina A.A., Novikov S.V. Architectural classification of intra-quarter spaces of Kazan Socgorod	89
Ponomarev E.S., Ivshin K.S. Territorial branding project strategy	100
Rachkova O.G., Denisova E.D. Solving the problems of designing the residential complexes during the renovation of the territories with the development of the 70s in Moscow	108
Salyakhova M.R., Shulpina Y.V. To the question of the relevance of the formation of temporary architecture as a way to transform public spaces in winter	120
Khaziakhmetova E.V., Akhtiamov I.I. The principles of greening the architectural space of a modern school	131
URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING	
Zakirova Y.A., Khmelnitskii D.S. Model of the formation of the transport framework of the Kamsk agglomeration	141
Nureyev T.M., Popov A.O. Prospects for the use of three-beam space-planning structure in the creation of residential mesh buildings	154
Stepanchuk A.V., Salyakhova V.M. Some aspects of formation of public spaces as a place of communication of tourists and local residents (on the example of Arsk)	164
Shaimardanova K.A., Prokofiev E.I. Transport interchange hub as a city-forming factor in the development of peripheral territories	175
BUILDING STRUCTURES, HOUSES	
Zamaliev F.S. Determination of the monolithic steel-reinforced concrete floors effective beam width	183
Mirsayapov Ilshat T., Nikitin G.P., Khanbekov M.F., Mirsayapov A.I. Full-scale tests of the slab foundation for high-precision equipment with simulation of the moving part of the machine by gradual loading	191
Strahov D.E., Gimranov L.R., Nuraev I.A. Researching of snow retention system on welted seam pitched roofs	200
Fabrichnaya K.A., Sharafutdinova C.I. On the issue of strengthening vaults («Monier» type) with composite materials in the reconstruction	210
Khayrullin L.R., Mingatin A.R. Causes of defects in sandwich-type panels during their production on lines with roller thermal press	220
FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES	
Koroleva I.V., Sagdatova M.R. Experimental studies of gray clay behavior under conditions of triaxial compression at different moisture	228
Kuznetsov I.L., Khusainov D.M., Khabibulina A.G., Penkovcev S.A. Development of demountable foundation of ballast type for rack-mounted construction	236
Mirsayapov Ilizar T., Nurieva D.M., Shakirov I.F. The researches of the influence from 12-story administrative building reconstruction on the technical condition surrounding buildings	245
Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M.I. Combined plate-pile foundations settlement calculation during cyclic loading	255
Khasanov R.R., Galeev R.R. The influence of the combination of cyclic and static loading on deformations and physico-mechanical characteristics of water-saturated loamy soils	263
HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING	
Akhmadiev F.G., Malanichev I.V. Reducing of pressure losses in ventilation ducts based on the solution of the structural and parametric optimization problem	271

Broyda V.A., Dorofeenko N.S. Efficiency of direct free cooling in an air conditioning system for rooms with significant heat input	279
Varsegov A.V., Varsegova E.V., Osipova L.E., Sadykov R.A. Areas of damage during emergency on the gas pipeline	288
Krutova I.A., Zolotonosov Y.D. Pipe-in-pipe coil heat exchangers based on spring-twisted channels	297
Taimarov M.A., Lavirko Y.V., Sadykov R.A. Energy saving in technology of production of ethyl biodiesel fuel from rape seeds	305
WATER SUPPLY, SEWERAGE, WATER CONSERVATION CONSTRUCTION	
Busarev A.V., Sheshegova I.G., Efremova R.Y. To the issue of oil products removal from natural waters by sorption method	313
Sainova V.N., Katkov I.S., Hounas Kaci Reconstruction of biological wastewater treatment plants to intensify the extraction of nutrients	320
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Bogdanov R.R., Ibragimov R.A., Korolev E.V. Optimization of the fractional composition of the aggregate mixture for self-compacting concrete	327
Kamalova Z.A., Sagdiev R.R., Aleksandrova M.A., Valiev A.I. Development of a method for predicting the durability of a three-layer roofing structure	336
Krasinikova N.M., Iksanova Z.F. The effect of polysilicate on the formation of cement stone	347
Mukhametshina R.M., Morozov V.I. Metal coatings based on complex compounds of copper(II) with nitrilotrimethylene phosphonic acid	359
Stroganov V.F., Sagadeev E.V., Ibragimov R.A., Pimenov S.I., Stoyanov O.V. Investigation of the effect of modifiers of various structures and mechanical activation of a binder on the biostability of cement composites	368
Suleymanov A.M., Smirnov D.S., Lobanova A.S. A method for evaluating the durability of swelling rubber for packers	376
Khaliullin M.I., Dimieva A.I., Faizrakhmanov I.I. The influence of addition of mechanically activated mineral fillers on properties of composite gypsum binders	386
Shelikhov N.S., Sagdiev R.R., Timirgaliev M.M. Design of a method for assessing the durability of building materials in aggressive environments	394
CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND ORGANIZATION	
Bogdanov A.N., Listratov J.A. Construction control by ground laser scanning	401
Mudrov A.G., Mudrova A.A. The use of controlled force in construction technologies	410
Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov A.R., Garafiev A.M. Electric curing of concrete using conductive mineral	418
ROADS, SUBWAYS, AIRPORTS, BRIDGES AND TUNNELS DESIGN AND CONSTRUCTION	
Gayfutdinov R.F., Khafizov E.R. Aprobation of existing methods for assessing the wear resistance of crushed stone by the example of stone materials used in the Republic of Tatarstan	427
Mavliev L.F., Vdovin E.A., Konovalov N.V., Khuziahmetova K.R., Sharapova N.B. Development of road-building material based on gravel-sand-cement mixture with optimal granulometric composition	435
Maystrenko I.I., Zinnurov T.A., Maystrenko T.I., Egorova I.I., Erochin D.I. Estimation of road bridges resource indicators based on the analysis of structural changes and damage accumulation in structural elements	444
Smirnov D.S., Brodneva V.E., Lobanova A.S. Analysis of application experience of warm asphalt mixes	455
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	462

УДК 72.017 (470.41)
Аитов Рамиль Равилевич
кандидат архитектуры, профессор
E-mail: ramilaitov@yandex.ru
Афанасьева Елена Алексеевна
кандидат психологических наук, доцент
E-mail: elenaalex2011@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Токмакова Гузэль Юрьевна
архитектор, начальник отдела адресации
E-mail: Guzel.Tokmakova@tatar.ru
Управление архитектуры и градостроительства Исполнительного комитета г. Казани
Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Груздева, д. 5

Принцип чередования цветов как характерная особенность архитектурных традиций казанских татар

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить наиболее устойчивую и характерную особенность татарской традиционной архитектурной колористики.

Результаты. Основные результаты исследования получены в ходе сравнительного анализа сельского зодчества татар Заказанья XIX-XXI вв. Выявлены характерные особенности полихромии в архитектурном декоре построек традиционных и современных сельских усадьб. Перечислены различные варианты применения принципа чередования цветов и используемые цветовые гаммы. Обсуждаются гипотезы происхождения принципа чередования цветов в архитектурной полихромии казанских татар.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектурной теории и практики заключается в возможности их использования в условиях реконструкции исторических объектов и в развитии современной национальной архитектуры.

Ключевые слова: татарская архитектура, архитектурный декор, архитектурная полихромия, принцип чередования цветов.

Введение

В современной мировой архитектуре немало примеров творческой реализации национальных традиций в проектах и постройках самых разных типов. Необходимым условием для появления таких работ является понимание происхождения и сущности традиций. В отечественной практике линия архитектурной преемственности прерывалась неоднократно, национальные и местные традиционные приемы заменялись интернациональными. Этот процесс неизбежно приводит к потере уникальности и национальной идентичности среды обитания человека. Выявление и популяризация характерных традиционных приемов, отражающих суть национального архитектурного своеобразия, помимо несомненного значения для реконструкции и реставрации объектов культурного наследия, может обеспечить базу для дальнейшего преемственного развития современной архитектуры региона.

В данном исследовании авторы ставят задачу выявления одной из наиболее устойчивых и характерных особенностей татарской традиционной архитектуры. В силу исторических причин архитектурные традиции татар ярко проявились в сельском деревянном зодчестве; в его декоративной разработке традиционно большую роль играет цветовое решение. В татарской архитектурной полихромии, наряду с составом цветовой гаммы и контрастными отношениями цветов, обращает на себя внимание принцип их чередования на окрашиваемых поверхностях, создающий узнаваемый декор «в полоску». Устойчивость применения этого принципа в декоре зданий разного типа и назначения, из различных материалов, позволяет предполагать древность его происхождения и заставляет обратиться к истории формирования архитектурных традиций татар.

Сравнительный анализ цветового решения построек татарских сельских усадьб XIX-XXI вв.

Особенности культуры татар XIX века отражены в исследованиях А. Фукс (1840) и К. Фукс (1844) прежде всего в этнографических и статистических аспектах. Своеобразие архитектурного облика различных построек в татарских поселениях было неоднократно отмечено, но подробно не описано. Однако в работах раннего советского периода, в первой трети XX века можно встретить ссылки на примеры татарского народного фольклора с упоминанием старинных традиций окраски домов как их отличительного свойства и свидетельства особенной красоты. Тогда же архитектурно-декоративные традиции татар были всесторонне изучены М.Г. Худяковым (1923, 1924), И.М. Дульским (1923, 1925), Н.И. Воробьевым (1925, 1926). Устойчивость и дальнейшее развитие архитектурно-декоративных традиций татар прослеживается благодаря более поздним работам XX в.: Н.И. Воробьева (1953, 1964), Ф.Х. Валеева (1964, 1969, 1984 и др.), И.Г. Гайнутдинова (1960, 1975), Р.Р. Аитова (1986, 1991). Анализ особенностей полихромии современного татарского сельского жилища (Р.Р. Аитов, Е.А. Афанасьева, 2016) основывался на натурных обследованиях 2013-2015 гг. исторически сложившихся сел Заказанья (в Алексеевском, Арском, Атнинском районах), а также в Верхнеуслонском, Высокогорском, Кайбицком, Лаишевском и Спасском районах Республики Татарстан. Анализ полученных данных показал, что традиционные принципы и приемы татарской колористики характеризуются высокой степенью устойчивости и продолжают использоваться в современных условиях.

К концу XIX в. в сельской местности сформировались основные принципы планировки и художественно-декоративного оформления татарского, преимущественно деревянного, жилища. Традиционную картину застройки центральной части старинных деревень Заказанья обычно составляли богатые по архитектурному декору двух- и реже трехэтажные дома, торговые и хозяйственные постройки сельской буржуазии, духовенства, зажиточных крестьян (рис. 1). Здесь же располагалась мечеть, являющаяся центром не только религиозной, но и общественной жизни деревни. Мечети в татарских деревнях были также и композиционными центрами и активно выявлялись цветом. Богатство и характер декорировки и колористического решения сельского жилища зависели от имущественного положения владельца. Однако даже в самых бедных домах можно было видеть отдельные элементы резной декорировки и простую (одноцветную) окраску наличников окон.

Рис. 1. Усадьба купца Даутова, конец XIX в. Реставрация, окраска деревянной обшивки и декора. Республика Татарстан, Атнинский район, с. Большая Атня (иллюстрация авторов)

На цветовое решение влияла структура застройки сельской усадьбы. Традиционное расположение жилища в глубине усадьбы повлияло на характер колористического решения построек. При высоких заборах со стороны улицы просматривались лишь фронтоны, которые и явились основным местом колористического и декоративного убранства жилища. В дальнейшие периоды развития жилища (к концу XIX вв.) по мере приближения его к забору, последний понижается и в ряде случаев имеет в завершении разные узоры. Начинают просматриваться наличники окон и верхняя часть фасада, которые также стали включаться в общую цветовую композицию. Таким образом, приближение фасада к красной линии, нередко и выход на нее, а также уменьшение забора или замена его штакетником, способствовали тому, что основную роль в колористике стал играть весь фасад дома. Фасад дома в целом решался с максимальной цветовой активностью. Как правило, покраска поверхности со стороны улицы решалась в традиционном приеме – полосами на основе двух и более цветов. При этом на всех этапах развития жилища ворота оставались активным местом колористического решения. Колористика забора и ворот подчинялась цветовому решению дома.

В народном зодчестве татарских сел Заказанья цвет использовался как композиционно-художественное средство. Цветом выявлялись композиционно-активные элементы дома – наличники, ставни окон, карнизные доски, фронтоны, ворота. При этом цвет (в виде покраски) решался в пределах существующих структурных элементов поверхностей. Формированию архитектурной полихромии в народном татарском зодчестве способствовали изменения технологических процессов изготовления основных строительных материалов, а именно: промышленное производство дешевых масляных красок и, с появлением продольной пилы, широким распространением досок. Обшивка бревенчатых фасадов в виде рустованных поверхностей, покраска чередующихся полос в различные цвета с целью выявления тектоники постройки и характера ее членений и обеспечила полосатый характер полихромии жилища.

К середине XX в. полихромия в народной сельской архитектуре становится наиболее популярным и доступным средством художественно-декоративного оформления жилища, подчеркивающим его пластику и тектонику, усиливающим выразительность и отражающим эстетические вкусы татарского народа. Возможность самостоятельной окраски построек усадьбы с частой сменой цветов приводила к индивидуализации колористических решений, способствовала развитию их разнообразия и яркости самовыражения владельцев, что неизбежно противопоставлялось серой типовой застройке новых сел советского периода, не в пользу последних.

К началу XXI в. сельское жилое строительство полностью перешло в руки индивидуальных застройщиков. Появление широкого ассортимента достаточно доступных современных строительных и отделочных материалов, казалось бы, могло пресечь реализацию традиций окрашивания деревянных построек; однако, этого не случилось [1]. Деревянные дома по-прежнему составляют большую часть застройки сел, демонстрируя традиционные приемы цветового декора (рис. 2). Использование традиционных цветов распространилось на подбор новых материалов – сайдинга и профнастила; принцип чередования цветов стал воплощаться в обшивке сайдингом (рис. 3) и в кирпичной кладке. Расширившийся ассортимент красок позволил реализовать традиционную цветовую гамму построек в многообразии оттенков традиционных цветов. Окрашивание с привычного дерева распространилось на кирпич, бетон и металлический декор. Устойчивость народных традиций прослеживается при широкой вариативности цветовых решений.

Рис. 2. Современная сельская усадьба. Окраска деревянной обшивки фронтона, ворот и забора. Республика Татарстан, Арский район, с. Урнашбаш (иллюстрация авторов)

Рис. 3. Современный сельский жилой дом. Обшивка сайдингом двух цветов. Республика Татарстан, Атнинский район, с. Нижняя Береске (иллюстрация авторов)

Сравнительный анализ традиционного архитектурного декора в сельском зодчестве Среднего Поволжья

Воробьев Н.И. в 1925 г. так описывал жилую застройку татарского села: «Когда проезжаешь по татарской деревне, то тщательно раскрашенный фронтон дома с воротами ярко бросается в глаза среди общей массы цвета старого дерева заборов, …простых фронтонов бедных неукрашенных домов. Если таких разукрашенных ворот, заборов и фронтонов много, то они придают красочность и оригинальность татарской улице, хотя отдельные такие дома сразу дают чувствовать, что эта деревня принадлежит народу, имеющему свою оригинальную культуру, отличную от культуры соседей» [2, с. 14]. Эти отличия локализуются, прежде всего, в области цветового решения; структура построек демонстрирует их меньшую выраженность.

Анализ исторического опыта застройки сел и деревень показывает, что народное жилище всегда отличалось стабильностью планировочных и композиционных решений. Всего несколько типов домов обеспечивали застройку деревень на территории крупных регионов. То общее, что наблюдалось в народном зодчестве в архитектурно-художественном оформлении жилищ народов одного региона, связано с общностью условий жизни, однотипностью хозяйственной организации жилища, а также с экономическими, климатическими и географическими особенностями среды обитания. Особенное в зодчестве и декоративном искусстве исходит из специфики национальной и региональной культуры каждого народа, его происхождения, художественных и эстетических представлений.

Так, при сравнении традиционной народной русской и татарской сельской архитектуры Среднего Поволжья (Р.Р. Аитов, 1986) можно увидеть, что пространственное построение их жилищ однотипно и представляет собой деревянный сруб, перекрытый двускатной крышей. Основное отличие между русскими и татарскими домами – в их художественно-декоративном оформлении. В русских домах Горьковской, Саратовской, Ульяновской областей приемы украшения основаны на деревянной резьбе, которой покрывались отдельные детали: ставни окон, наличники и полотенца дверей, подзоры кровель. Оставаясь, как правило, неокрашенным, теплый тон обработанного дерева органично сочетался с поверхностью рубленых стен здания, составляя с ним единое целое.

У татарских же домов деревянная резьба играла менее важную роль в художественно-декоративном украшении, уступая место активной полихромии. В татарском жилище в цвете решалось все, начиная с жилого дома и кончая хозяйственными постройками, выходящими на улицу. Причем бревенчатая поверхность дома обшивалась досками в виде рустованной поверхности, которая и определяла характер полихромного решения. В композиции использовались несколько цветов: голубой, белый, желтый, зеленый, реже коричневый, и как акцентные – синий и красный цвета. Всевозможные сочетания этих нескольких цветов с различным размещением их в структуре жилища и в небогатом, но специфичном деревянном декоре в каждом доме придавали ему неповторимость и своеобразие.

Оригинальная полихромия придавала особую выразительность и привлекательность относительно простым по конструкциям и украшениям татарским домам, воротам, заборам. По этому поводу один из исследователей татарского деревянного зодчества М.Г. Худяков (1924) отмечал, что цвет является основным декоративным средством татарского искусства; в области архитектуры это сближает татарскую традицию с восточными культурами (например, с отделкой самаркандских мечетей). Таким образом, приемы цветового оформление сельского жилища являются характерной особенностью народного деревянного зодчества казанских татар.

Характерные особенности традиционной татарской архитектурной полихромии

Как показал проведенный анализ, архитектурная полихромия в сельском зодчестве сохранилась до настоящего времени и продолжает преемственно развиваться. К основным колористическим особенностям традиционного татарского жилища относятся:

- полихромность решения всего жилища. Цветовая культура казанских татар отличается выраженной полихромией. По словам П.М. Дульского (1925), для татарского искусства в целом характерно окрашивание в несколько цветов в разнообразных сочетаниях. Однако использование большого числа цветов в композиции не приводило к

пестроте. Большое значение в этих случаях придавалось цветовому фону, который усиливал одну гамму цветов, смягчал другую и, в целом, способствовал созданию своеобразной цветовой гармонии;

- ограниченность цветовой палитры. Традиционная гамма цветов (с булгарских времен она практически не изменилась) почти всегда одинакова. Это – зеленый, голубой, желтый, белый; в небольших количествах, как акценты – красный и синий цвета;

- яркий контраст между цветом деталей и фоном;

- в татарском жилище цвет используется как формообразующее средство для выявления структурной и тектонической основы дома. Цветом выделяются такие конструктивные узлы как зашитые углы дома, столбы ворот;

- прием чередования цветов. Подобная окраска «в полоску» резко отличает декоративно-художественное оформление татарского дома среди других народов региона;

- комплексность колоризации усадьбы: полихромное, в единой гамме цветов, решение, как самого дома, так и хозяйственных построек, ворот, ограды. Это способствовало композиционно-художественному единству всех элементов жилища. При этом наиболее активно решались в цвете фронтон дома и ворота усадьбы.

Одной из наиболее характерных особенностей колористики татарского деревянного зодчества является прием чередования цветов. С помощью этого приема традиционно выявляются самые композиционно значимые части строений; например, так окрашивались минареты мечетей. Ствол минарета обшивался горизонтально или наклонно расположенными досками, которые окрашивались в два чередующихся цвета. Узкие полосы окрашивались в белый, широкие – в желтый, голубой или зеленый цвета. Шатровое завершение всегда было зеленым или бирюзовым. Фасады обшивались тесом или досками с последующей покраской в один тон: зеленый или желтый, реже – голубой. В редких случаях входные двери состояли из двух полотнищ, косо обшитых досками и раскрашенных в два цвета, аналогично стволу минарета. Решенный в чередующихся цветах минарет мечети всегда выделялся красочностью и живописностью на фоне зелени и голубого неба.

Используется прием чередования цветов и в цветовом декоре сельской усадьбы. Окрашиваются обшитые углы дома (рис. 1, 3) и столбы ворот (рис. 2), где цвета чередуются по горизонтально или наклонно идущим полосам обшивки. Чередующиеся полосы украшают фронтон (рис. 2, 3) или весь фасад дома, включая и плоскость стены. Окраска «в полоску» имеет разновидности – «в елочку», «в зигзаг», – что еще больше выделяет декоративно-художественное оформление татарского дома.

Отличия цветового решения связаны и с пластической проработкой, декором строений. Так, фронтонам старинных татарских домов свойственно устройство своеобразной фронтонной ниши, которая, как правило, имела стрельчатое, килевидное или полуциркульное завершение (рис. 1). В глубине ниши обычно было окно. Фронтонные ниши часто обрамлялись одинарными и двойными колонками, и в основании на всю их ширину устанавливалось невысокое ограждение из точеных балясин или решетки из реек, в окраске которых также преимущественно использовался принцип чередования цветов. К концу XIX в. фронтонные ниши уменьшаются в размерах, а к началу XX в. постепенно заменяются фронтонным окном, часто повторяющим силуэт ниши. До настоящего времени сохранились оба типа фронтона, хотя фронтон с нишей больше не воспроизводится в новых постройках. В связи с этим в оформлении фронтонов домов можно выделить два наиболее характерных цветовых решения:

- первое, при наличии фронтонной ниши, – однотонное цветовое решение фронтонной плоскости (голубой, синий, зеленый, желтый). Фронтонная ниша красилась в аналогичные, но более темные и контрастные к фронтонной плоскости цвета. Наибольший цветовой акцент делался на колористическом решении декора – обрамлении фронтонных ниш: колонках, решетках, декоративных резных накладках вокруг арочного завершения ниши. В покраске этих деталей всегда применялось чередование цветов (рис. 1). Также и фронтонные карнизы выкрашивались в 2-3 цвета в традиционных сочетаниях (например, в белый – зеленый – голубой, синий – желтый).

- второе, при оформлении фронтонов без фронтонных ниш, замененных обычным окном. Это изменило характер обшивки фронтона. Если раньше фронтон обшивался горизонтальными досками, то теперь он стал чаще обшиваться вертикально или «в

елочку» (рис. 2). Такие фронтоны окрашивались однотонно – в зеленый, бежевый, голубой, светло-коричневый или в чередующиеся два-четыре цвета в соответствии с обшивкой «в елочку». Обшивка красилась, в основном, в следующих сочетаниях: белый – голубой – красный; белый – голубой – желтый; белый – голубой – зеленый; белый – голубой – красный – зеленый, а также в двуцветные сочетания указанных цветов.

Встречаются фронтоны, в которых применена комбинированная обшивка: верхняя «в елочку», а нижняя – вертикальными декоративными планками. В этом случае колористика фронтона также строится на основе чередования цветов.

Стены дома окрашиваются однотонно или в чередующиеся два цвета: белый с зеленым, белый с желтым, белый с голубым. Если углы зашиваются досками в горизонтальном или наклонном направлении, то их окраска также чаще всего ведется в чередующиеся цвета. При раскраске наличников основной тон берется чаще всего белый, планки покрышки – синие или голубые, кронштейны – голубые сбоку и красные по торцу. Накладные украшения, ромбы или жгутики, окрашиваются в голубой, зеленый или золотисто-желтый цвет. Фасадные карнизы состоят из двух или трех, наложенных друг на друга, досок. Доски обычно раскрашивались в два или три цвета разных сочетаний при обязательном присутствии белого цвета. Иногда окрашенные поверхности ограничивались узкими полосами красного цвета. Этот цвет в силу своей интенсивности, в раскраске татарского жилища никогда не имел доминирующего значения и выполнял второстепенную роль (разграничение, оконтуривание).

Ворота окрашивались, начиная с подшивки крыши (синей или зеленой) и фриза (соответственно, красным или белым). Столбы и полотнища ворот чаще красились в светлые тона зеленого, голубого, бирюзового и золотисто-желтого цветов. Реже использовались коричневый цвет и темно-зеленый. Столбы ворот часто выявляются окраской «в полоску» (рис. 2). Все накладные детали красились в различные цвета в контрасте с цветом ворот. Это выделяло украшения и делало ворота весьма живописными и нарядными. В раскраске деталей использовалось сразу несколько цветов, что создавало впечатление переливчатости красок. Сплошная часть забора чаще раскрашивалась в один цвет – зеленый или желто-коричневый. Однако применялась и раскраска в два-три цвета. Например: основной цвет зеленый, нащельники – белые, а подбор – темно-коричневый. Решетки обычно окрашивались яркими цветами и всегда отдельно от забора, чаще следующих тонов: столбики белые с красными остриями, соединяющие их брусья – зеленые или синие или наоборот. Сейчас можно наблюдать наиболее распространенную окраску решетки забора в чередующиеся цвета, как и прежде контрастные к основному цвету забора (рис. 2, 3).

Таким образом, все существенные традиционные приемы окрашивания построек татарской усадьбы сохраняются до настоящего времени, несмотря на некоторые структурные изменения в их отделке. Как и во времена исследований Н.И. Воробьева, «Раскрашенный таким образом дом имеет совершенно оригинальный вид. …Такой ярко окрашенный дом представляет гордость хозяина» [2, с. 22]. Принцип чередования цветов продолжает применяться в татарской колористической традиции, составляя одну из ее существенных особенностей.

Происхождение и развитие традиций татарской архитектурной полихромии

Формирование татарских архитектурных колористических традиций неразрывно связано с основными этапами развития татарского этноса и его культуры. Это булгарский и золотоордынский периоды, Казанское ханство и российский период. Средневековая культура и искусство татар формировались под воздействием исламского мира [3], поэтому архитектура развивалась во взаимодействии с различными исламскими школами. Живописность булгарского стиля и декоративность казанского создали в условиях этих исторических влияний богатую и выразительную полихромию татарской архитектуры [4].

В болгарском периоде наблюдается влияние арабской и закавказской школ; позже – сельджукской, мамлюкской и османской архитектуры [5, 6]. В декоративном оформлении зданий использовалась резьба по камню, майолика, мозаика; в интерьерах – окраска стен. Архитектурная полихромия золотоордынского периода испытала влияние персидской, среднеазиатской и закавказской школ. Согласно обзору исторического развития

исламской культовой архитектуры [7] и ее декора [8] персидская (иранская) традиция отличается достаточно широким использованием сине-зеленых цветов в контрасте с белым и золотистым [9]; среднеазиатская и закавказская школы предпочитают голубой цвет в архитектурном декоре. Эти цветовые сочетания и предпочтения в архитектуре исламского средневековья распространились далеко за пределы областей их происхождения и надолго закрепились в архитектурных традициях многих исламских стран, сохраняясь до настоящего времени [10, 11]. Период Казанского ханства характеризуется влиянием османской культуры; в этой восточной архитектурной традиции можно обнаружить многочисленные примеры «полосатого» декора стен зданий, сложенных из кирпичей и камня разного цвета. Тот же прием получил широкое распространение в архитектуре мамлюкского Египта [12].

После присоединения края к России центром развития культуры казанских татар становятся районы Заказанья (ныне Арский, Атнинский, Высокогорский и др. районы Республики Татарстан). Здесь после первоначального разорения Закамского центра Булгарии в XIV-XV вв. осело его основное население; здесь же была основана территория Казанского ханства, сформировалась народность – казанские татары, как часть татар Среднего Поволжья. В Заказанье переселились татары из Казани после российского завоевания. Но, вместе с утерей казанскими татарами соответственных архитектурных концепций, как и традиционных (с булгарских времен) навыков возведения кирпично-каменных сооружений, исчезли и связанные с ней виды декоративного искусства: мозаика, майолика, резьба по камню и гипсу, монументальная роспись. Тем не менее, знание и опыт, сложившиеся в области строительства монументальных зданий, были перенесены на архитектуру сельских построек.

Лишь спустя два столетия во второй половине XVIII в. татарский народ смог возродить в деревянном народном зодчестве традиции архитектурной полихромии. Об этом свидетельствуют многие исследователи татарского декоративно-прикладного искусства и зодчества: М.Г. Худяков (1924), П.М. Дульский (1925), Ф.Х. Валеев, Г.Ф. Сулейманова-Валеева [3, 4]. Доказательством этому служит единая стилевая основа орнамента, украшений, идентичность применяемых цветов, сходство приемов и принципов колористической композиции декоративно-прикладного искусства и художественного цветового решения жилища [4]. Декоративно-художественное решение экстерьера сельского жилища отличалось редкой самобытностью и являлось органичным продолжением многокрасочности интерьера жилища и элементов декоративно-прикладного искусства. Именно в сельской архитектуре Заказанья продолжали существовать и преемственно развиваться традиции архитектурной полихромии. По всей вероятности, после присоединения края к Русскому государству и массового переселения татар-горожан из Казани, последние, оказавшись в деревне, сохранили традиционный метод полихромного оформления своих домов, применяя старые приемы в новых условиях деревянного строительства.

В облике богатых сельских построек татар XVIII-XIX вв. наблюдается и влияние русской городской архитектуры. Так, появляются ордерные членения фасадов пилястрами; карнизы, имитирующие карнизы каменных строений (рис. 1). Однако татарские народные мастера, работавшие над художественным оформлением байских усадеб, мечетей, рядового жилища, исполняя волю заказчика, по-своему выражали понимание архитектурных форм, оригинальность решений, цветового колорита. Поэтому древние традиции татарской архитектурной полихромии, воплощаясь на протяжении длительного времени в разнообразных деревянных постройках, в своих основных чертах сохранились до настоящего времени.

Обсуждение факторов происхождения принципа чередования цветов в традиционной татарской архитектурной полихромии

Характерная для традиционной татарской полихромии окраска «в полоску» и ее происхождение неизменно вызывали интерес исследователей на протяжении последнего столетия. Причины этой своеобразной архитектурной полихромии следует искать в особенностях национальной психологии татарского народа, ориентировавшегося как на древние традиции полихромии в местной архитектуре (в основном в сельских районах),

так и на полихромные традиции зодчества стран Востока, с которыми у татар были традиционные культурные контакты.

Наиболее ранние из дошедших до нас сооружений с характерной для казанских татар полосатой раскраской датируются концом XVIII в. (П.М. Дульский, 1925, приводит датировку двух деревянных мечетей в деревнях Рясь и Менгер, построенных в 1780 и 1795 гг.). Когда-то они имели чередующуюся полосатую раскраску фасадов из голубого и зеленого, зеленого и бежевого цветов. Архитектор Ф.Х. Валеев связывал подобное явление со своеобразной трансформацией в деревянном зодчестве традиционной кирпично-каменной кладки [3, 4]. Сочетание терракотового кирпича с камнем белых или охристых оттенков давало визуальный эффект полос. Подобные приемы строительства получили распространение в египетско-турецкой, сирийской и азербайджанской архитектуре средневековья; встречаются они и в архитектуре Волжской Булгарии [5]. Ф.Х. Валеев предполагал, что этот прием был характерен и для архитектуры казанских татар конца XV-первой половины XVI вв. Фрагменты «полосатой» фактуры поверхности стен можно увидеть на рисунке французского художника А. Бар, изобразившего полуразрушенную кирпично-каменную мечеть в одной из крупных татарских деревень [3, рис. 91]. Аналог использован Ф.Х. Валеевым в графических реконструкциях построек Казанского Кремля [3, рис. 87-92, 177]. Подобной версии придерживался и профессор Н.И. Воробьев (1964). Архитектор Н.Х. Халитов (1982) связывал появление этого приема с системой окраски в русской архитектуре (выявление рустованных лопаток, имитация клинчатых арок), а также с попыткой ассоциативно сблизить татарскую архитектуру со среднеазиатской (бухарской). Архитектор Х.Г. Зяббарова (1982) предполагала, что полосатый характер раскраски татарского жилища определяется структурой деревянной рустованной обшивки, в которой чередовались нижние узкие и верхние широкие «полосы» обшивки. Действительно, поверхность бревенчатых стен, не обшитых досками, никогда не подвергается окраске «в полоску», по крайней мере, в современном варианте декорирования. Также не окрашиваются полосками поверхности бетонных секций заборов, при этом разные цвета наносятся на их рельефный декор (профильные обрамления, решетки). Таким образом, декорирование «в полоску», как и цветовое решение в целом, следует за структурой пластической отделки поверхностей, чему способствует обшивка досками или, в современной версии, сайдингом.

Заключение

Архитектурная полихромия сельского жилища татарского народа – явление традиционное и очень древнее. Она является наиболее характерной особенностью народного деревянного зодчества. При этом следует признать, что одним из важнейших факторов, влияющих на своеобразие и неповторимость татарской сельской архитектуры, являются культурно-исторические традиции применения цвета. Анализ современных цветовых решений показал, что архитектурная полихромия в сельском зодчестве сохраняется до настоящего времени и продолжает преемственно развиваться. Принцип чередования цветов остается наиболее выразительным, ярким и колоритным признаком национальных архитектурно-колористических традиций.

Получение системных знаний о сущности и происхождении традиций татарской архитектурной полихромии является значимым вкладом в развитие национального своеобразия современной архитектуры Татарстана. Основные принципы традиционной архитектурной полихромии могут быть использованы в практике реконструкции и реставрации объектов культурного наследия; в развитии и обогащении средств художественной выразительности современной архитектуры.

Список библиографических ссылок

1. Аитов Р. Р., Афанасьева Е. А. Вариативность реализации национальных традиций в колористике татарского сельского жилого дома: сб. ст. «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация» – IV Международная научно-практическая конференция / КГАСУ. Казань, 2016. С. 26–31.

2. Воробьев Н. И. Жилища и поселения казанских татар Арского кантона ТССР. Казань, 1926. 29 с.
3. Валеев Ф. Х., Валеева-Сулейманова Г. Ф. Древнее искусство Татарстана. Казань : Татарское книжное изд-во, 2002. 104 с.
4. Валеев Ф. Х. Орнамент казанских татар. Казань : Татарское книжное изд-во, 1969. 204 с.
5. Надырова Х. Г. Средневековые города Татарстана. Развитие градостроительной культуры Волго-Камья X-середины XVI вв. Казань : КГАСУ, 2014. 229 с.
6. Валеева-Сулейманова Г. Ф. Специфика исламского искусства в Поволжье на этапе становления // Вестник Казанского государственного университета культуры и искусств. 2012. № 1. С. 47–50.
7. The Mosque. History, architectural development and regional diversity / Edited by M. Frishman and H.-U. Khan. Thames and Hudson Ltd, London, 2002. 288 p.
8. Yahya Abdullahi, Mohamed Rashid Bin Embi. Evolution of Islamic geometric patterns // Frontiers of Architectural Research. 2013. № 2. P. 243–251.
9. Fateme Majidi. Observation of Image and Color of Isfahan Mosques in Perspective of Islamic Art‘s Indices // Research Journal of Recent Sciences. 2015. Vol. 4 (10). P. 113–121.
10. Eskander Baitenov, Ainagul Tuyakayevan, Gulnara Abdrassilova. Medieval mausoleums of Kazakhstan: Genesis, architectural features, major centres // Frontiers of Architectural Research. 2019. № 8. P. 80–93.
11. Madiha Ahmad, Khuram Rashid, Neelum Naz. Study of the ornamentation of Bhong Mosque for the survival of decorative patterns in Islamic architecture // Frontiers of Architectural Research. 2018. № 7. P. 122–134.
12. Mohamad Kashef. Bahri Mamluk muqarnas portals in Egypt: Survey and analysis // Frontiers of Architectural Research. 2017. № 6. P. 487–503.

Aitov Ramil Ravilevich
candidate of architecture, professor
E-mail: ramilaitov@yandex.ru
Afanasyeva Elena Alekseevna
candidate of psychological sciences, associate professor
E-mail: elenaalex2011@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Tokmakova Guzel Yurievna
architect, head of addressing department
E-mail: Guzel.Tokmakova@tatar.ru
Department of architecture and urban development of the Executive Committee of Kazan
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Gruzdev st., 5

The principle of alternating colors as a characteristic feature of Kazan tatar's architectural traditions

Abstract

Problem statement. The aim of this work is to determine the main characteristic feature of tatar's traditional architectural coloristics.

Results. The main results of the study were obtained in the comparative analysis of rural architecture of the Tatars of the XIX-XXI centuries lived behind Kazan. The characteristic features of polychromy in the architectural decoration of traditional and modern rural estates are revealed. Possible variants of application of the alternating colors principle and the used color scales are listed. The origin of the alternation colors' principle in the architectural polychromy of the Kazan Tatars is discussed.

Conclusions. The significance of the results for architectural theory and practice lies in the possibility of their use in the reconstruction of historical objects and in the development of modern national architecture.

Keywords: tatar architecture, architectural decoration, architectural polychromy, alternating colors principle.

References

1. Aitov R. R., Afanasyeva E. A. Variation in the implementation of national traditions in the coloristic of the Tatar rural houses : dig. of art. «Cultural heritage in XXI century: preservation, use, popularization» – IV international scientific-practical conference / KGASU. Kazan, 2016. P. 26–31.
2. Vorobiev N. I. Housing and settlements of the Kazan Tatars of Arsk Canton of TSSR). Kazan, 1926. 29 p.
3. Valeev F. H., Valeeva-Suleymanova G. F. The ancient art of Tatarstan. Kazan : Tatarskoye knizhnoye izd-vo, 2002. 104 p.
4. Valeev F. H. Kazan Tatars' ornament. Kazan : Tatarskoye knizhnoye izd-vo, 1969. 204 p.
5. Nadyrova Kh. G. The medieval cities of Tatarstan. The development of urban culture of Volga-Kama of the X – XVI centuries. Kazan : KGASU, 2014. 229 p.
6. Valeeva-Suleymanova G. F. Specific character of Islamic art during formation in Volga region // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta kultury i iskusstv. 2012. № 1. P. 47–50.
7. The Mosque. History, architectural development and regional diversity / Edited by M. Frishman and H.-U. Khan. Thames and Hudson Ltd, London, 2002. 288 p.
8. Yahya Abdullahi, Mohamed Rashid Bin Embi. Evolution of Islamic geometric patterns // Frontiers of Architectural Research. 2013. № 2. P. 243–251.
9. Fateme Majidi. Observation of Image and Color of Isfahan Mosques in Perspective of Islamic Art's Indices // Research Journal of Recent Sciences. 2015. Vol. 4 (10). P. 113–121.
10. Eskander Baitenov, Ainagul Tuyakayevan, Gulnara Abdrassilova. Medieval mausoleums of Kazakhstan: Genesis, architectural features, major centres // Frontiers of Architectural Research. 2019. № 8. P. 80–93.
11. Madiha Ahmad, Khuram Rashid, Neelum Naz. Study of the ornamentation of Bhong Mosque for the survival of decorative patterns in Islamic architecture // Frontiers of Architectural Research. 2018. № 7. P. 122–134.
12. Mohamad Kashef. Bahri Mamluk muqarnas portals in Egypt: Survey and analysis // Frontiers of Architectural Research. 2017. № 6. P. 487–503.

УДК 72.032.7:725
Зейферт Марина Германовна
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: zeyfertm@mail. ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Ежов Руслан Вячеславович
инженер
E-mail: ruler-07@mail. ru
ООО «ПЕРИ»
Адрес организации: 142400, Россия, г. Ногинск, «Ногинск-Технопарк», д. 9

Особенности формирования и развития крупных многофункциональных архитектурных комплексов античности

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить особенности зарождения, формирования и развития крупных многофункциональных архитектурных комплексов античности: императорских дворцов, вилл, форумов.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в следующем:

1. Выявлена структура многофункциональных, создаваемых на протяжении столетий архитектурных комплексов античности. Особенности объемно-планировочных решений комплексов, позволяют рассматривать их как системы со сложной иерархической структурой, а при исследовании использовать метод декомпозиции – расчленения. Системы исследуются по одному признаку – функциональному назначению входящих в них элементов и расчленяются на несколько уровней. На основе проведенного анализа установлены истоки и этапы формирования крупных архитектурных комплексов античности.

2 Выявлены особенности объемно-планировочных и композиционных решений крупных архитектурных комплексов античности на примере императорских дворцов, вилл и форумов.

3. Представлены примеры преемственности в архитектуре, использовании приемов разработанных античными зодчими, при создании архитектурных комплексов и зданий в XVI-XIX вв.

Выводы. Значимость полученных результатов заключается в выявлении основных принципов формирования и развития крупных архитектурных комплексов античности, возможном использовании приемов древних зодчих в современной архитектуре.

Ключевые слова: античная архитектура, многофункциональные архитектурные комплексы, объемно-планировочная структура, архитектурная композиция, преемственность.

Введение

Обследуя огромную, около 88000 м^2, территорию Палатинского холма, представляешь, что на месте сохранившихся руин в течение столетий возводились жилые дома, а затем и грандиозные дворцы основателей Рима, римской республики, римской империи. Все началось с нескольких хижин, по преданию, одна из них принадлежала основателю Рима Ромулу. Строительство на Палатине велось вплоть до падения империи, а в дальнейшем грандиозные сооружения на протяжении многих веков разрушались. Палатинские дворцы, расположенные на возвышенности, были хорошо видны с Римского форума, Большого цирка, Капитолия. В настоящее время сохранились лишь мощные субструкции высотой до 20 м, на которых некогда возвышались роскошные здания. По конфигурации раскопанных фундаментов, сохранившихся стен и колонн можно судить об особенностях планировки утерянных памятников. Обращает на себя внимание, что весь комплекс дворцовых зданий строился постепенно и не только отдельные дворцы,

здания, но и части зданий разного назначения, отделенные друг от друга стенами, могли функционировать независимо от других групп помещений.

Целью данного исследования являются особенности зарождения, формирования и развития крупных многофункциональных архитектурных комплексов античности. В работе использованы метод натурного обследования и фотофиксация крупных архитектурных комплексов, метод декомпозиции, а также материалы литературных источников по данному вопросу.

Истоки и этапы формирования объемно-планировочных решений крупных многофункциональных архитектурных комплексов античности.

Дворцовый комплекс, расположенный на Палатинском холме отличается сложной функциональной структурой, своеобразным решением архитектурной композиции, использованием всех доступных приемов строительной техники античности. Первые поселения на Палатине появились в IX-VIII вв. до н.э. Начиная с этого времени строительные работы на территории холма происходили постоянно, вплоть до возведения в III в. дворцового комплекса императорской династии Северов и терм императора Максенция. Особенности многофункционального, создаваемого на протяжении нескольких веков комплекса Палатина позволяют рассматривать его как систему со сложной иерархической структурой, а при исследовании применить метод декомпозиции – расчленения [1, с. 20]. Система исследуется по одному признаку – функциональному назначению составляющих ее частей и расчленяется на несколько уровней:

– Нулевой уровень – весь Палатинский холм с разновременными дворцовыми сооружениями;

– Первый уровень. Дворцовые комплексы правителей Рима:

- дворец Августа (правление Августа 43 г. до н.э.-14 г. н.э.);
- дворец Тиберия и Калигулы (14-41 гг. н.э.);
- дворец Флавиев был создан в 92 г. для императора Домициана (81-96 гг. н.э.);
- дворец династии Северов (193-211 гг. н.э.);

– Второй уровень. Каждый из дворцовых комплексов в свою очередь включает несколько функциональных зон разного назначения. Например, в структуру дворца Флавиев входит дом Домициана предназначенный для парадных приемов, дом Августа, где кроме парадных залов находились жилые помещения, Палатинский стадий служащий зоной отдыха;

– Третий уровень. Каждая из зон второго уровня также расчленяется на несколько групп помещений. Например, дом Домициана включает: тронный зал с базиликой и ларарием, перистиль окруженный помещениями, триклиний с нимфеями и академию с двумя библиотеками;

– Четвертый уровень. Каждая из зон третьего уровня также включает несколько главных помещений и ряд второстепенных к ним примыкающих.

Проведя, применив метод декомпозиции, анализ архитектурного комплекса Палатина можно сделать вывод, что в основе сложной структуры лежит объемно-планировочное решение италийского дома с центральным двором и помещениями вокруг него. По этому принципу формируются все многочисленные группы помещений разного назначения, в той или иной степени изолированные, составляющие многофункциональный комплекс. В таблице выделены этапы развития античных жилых зданий от италийского домуса до многофункционального дворцового комплекса.

1 этап развития античного жилого дома

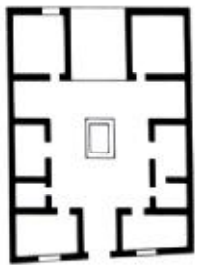
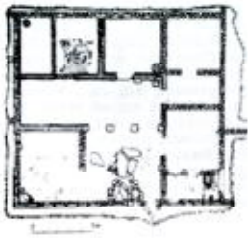
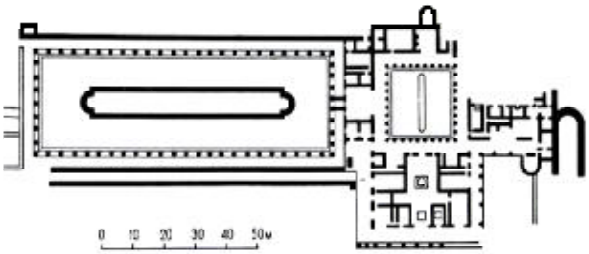
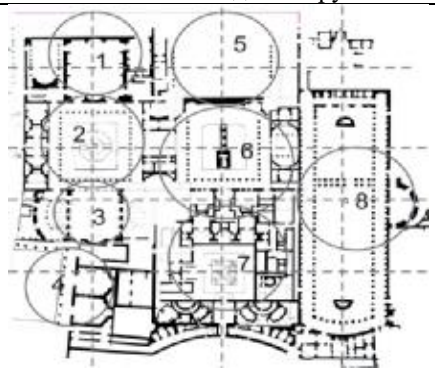
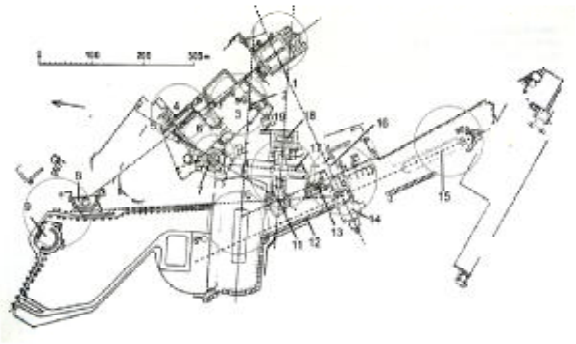
Формирование помещений вокруг одного центра – домашнего очага, атрия, пастады, перистиля.

Формирование итальянского жилого дома необходимо рассматривать с учетом особенностей древнего жилья этрусков и греков. В VIII-начале VII в. до н.э. в районе Вилланова под Болоньей были найдены памятники древней культуры, позволяющие предположить, что жилища имели овальную или круглую форму со столбом в середине, на который опиралась деревянная крыша [2, с. 395]. В центре сооружения находился очаг. В таблице представлено одно из сооружений подобного типа – так называемая хижина Ромула,

относящаяся к VIII в. до н.э. Позднее жилые дома становятся прямоугольными, расширяется состав помещений, используются другие строительные материалы и конструкции. Очаг располагается в центральном дворе, вокруг него вокруг него группируются все помещения. В этрусскую пору во дворе рядом с очагом находился бассейн, жертвенный стол и шкаф с различными предметами культа, статуэтками ларов и пенатов – покровителей дома [5, с. 39]. Внутренний двор – атриум служил одновременно кухней, столовой, молельней и пространством для отдыха, был символом домашнего мира. Объёмно-планировочное решение патрицианского жилого дома, сложившегося к IV в. до н.э. и получившего название – домус, было дальнейшим развитием атриумного дома этрусков.

Таблица

Этапы зарождения и формирования крупных многофункциональных архитектурных комплексов античности

<table>
<tr><td colspan="4">1 этап развития античного жилого дома. Формирование помещений вокруг одного центра – домашнего очага, атрия, пастады, перистиля.</td></tr>
<tr>
<td>
Хижина Ромула (реконструкция) [3, с. 144]</td>
<td> 
Атриумный дом италийского типа [2, с. 463]</td>
<td> 
Жилой дом «пастадного» типа. Олинф. Вилла «Бронзы» [2, с. 151]</td>
<td>
Эллинистический дом перистильного типа [2, с. 322]</td>
</tr>
<tr><td colspan="4">2 этап развития античного жилого дома. Формирование помещений вокруг нескольких центров</td></tr>
<tr>
<td colspan="2">
Помпеи. Вилла Мистерий. III-II в. до н.э. План виллы в период республики [2, с. 474]</td>
<td colspan="2"> 
Геркуланум. Вилла Папирусов (Пизона). I в. до н.э. [2, с. 477]</td>
</tr>
<tr><td colspan="4">3 этап. Создание крупных многофункциональных дворцовых комплексов</td></tr>
<tr>
<td colspan="2"> 
Рим. Дворец Флавиев на Палатине, конец I в. н.э. [4, с. 88]</td>
<td colspan="2"> 
Тибур. Вилла Адриана, 118-138 гг. н.э. [2, с. 635]</td>
</tr>
</table>

Одной из основных особенностей античного жилого дома является полная изолированность помещений от внешнего мира. Цицерон, проживающий на Палатине, писал:

«Что есть более святое, более тщательно
Огороженное, чем дом каждого человека?
Там его алтарь, его очаг, его домашние боги;
Там хранятся все его святыни».
Марк Тулий Цицерон (106-43 гг. до н.э.) [6, с. 189].

Важным этапом в развитии италийского жилого дома стало появление перистиля. От самого входа, через атриум и таблинум, открывалась перспектива на перистиль с деревьями и клумбами, фонтанами и скульптурой.

2 этап развития античного жилого дома

Формирование помещений вокруг нескольких центров.

Со временем структура патрицианского дома менялась, сказывалось влияние греческих традиций, появились помещения нового функционального назначения. Дома местной знати насчитывали до 40 помещений. Под влиянием эллинистической культуры выделилась изолированная группа помещений для женщин – гинекей. Комнаты для гостей часто выходили в отдельный атрий и имели свой вход. Появляется столовая – триклиний (от греч. treis – «три» и лат. cline – «ложе»), вокруг стола размещались три ложа, на которых возлежали римляне во время принятия пищи. В доме могло быть несколько триклиниев: летние триклинии выходили на северную сторону перистиля, а зимние триклинии на южную. У греков римляне позаимствовали не только перистиль, но и библиотеку, а также парадный зал для приемов с внутренней колоннадой – экус.

Тенденция огораживать каждую группу помещений, связанную функционально, стенами, сохранилась. Каждая зона развивалась вокруг собственного центра – ядра композиции богато озелененного пространства внутренних дворов, либо главного по значимости и величине крытого помещения. Здания со временем расширялись, пристраивались новые группы помещений, однако, как правило, композиция каждой новой группы помещений была осевая, в основном симметричная. Таким образом, в процессе формирования античного жилого дома, сложился основной прием композиции крупных архитектурных комплексов античности, а именно четкое функциональное зонирование, разделение структуры здания, на отдельные группы, состоящие из помещений, примыкающих к центру – атриуму, перистилю или главному залу.

3 этап развития античного жилого дома

3 этап – создание крупных многофункциональных комплексов. Объемно-планировочная структура крупных архитектурных комплексов, в частности Палатина, представляет собой совокупность изолированных групп помещений различного назначения расположенных вокруг центрального пространства – зала, атрия, перистиля.

Особенности объемно-планировочных и композиционных решений крупных многофункциональных архитектурных комплексов античности на примере императорских дворцов, вилл и форумов.

1. Структура дворцового комплекса Палатина складывается из групп помещений, в основном прямоугольной формы, различного назначения расположенных вокруг центрального зала, атрия, перистиля – композиционного ядра. Каждая из функциональных зон комплекса имеет свою ось симметрии. Изолированные группы помещений, тем ни менее связаны друг с другом проходами, лестницами, террасами.

Изолированность пространства свойственна и другим архитектурным комплексам. Например, расположенные недалеко от Палатина ансамбли императорских форумов, возводились с 46 г. до н.э. до 133 г. н.э. Все пять форумов примыкают вплотную друг к другу, но каждый из них огорожен глухой высокой стеной. Возможно, стены являлись защитой от частых в тесной жилой застройке пожаров. Симметрия всех форумов подчеркнута центральным расположением храмов, экседрами, триумфальными воротами или монументом. Строительство каждого комплекса происходило с учетом уже существующих ансамблей.

2. В регулярном и очень рациональном планировочном решении дворца Флавиев видны некоторые черты римских военных лагерей. Горизонтальные и вертикальные оси перистилей и помещений располагаются под прямым углом подобно главным улицам римского города – кардо и декуманус. Жесткая планировочная схема исполнена на сложном рельефе Палатинского холма. Оси трех частей комплекса расположены параллельно по направлению от Римского Форума к Большому цирку. Оси перпендикулярных направлений объединяют перистили и залы дворца (табл.). В императорских форумах ось форума Трояна параллельна осям самого раннего форума Цезаря и форума Мира. Перпендикулярно расположенные оси форумов Августа и Нервы также параллельны друг другу.

3. Большинство помещений и дворов комплекса прямоугольной формы, динамичность пространственной композиции заключается в контрасте замкнутых и открытых пространств, высоких и низких помещений, разнообразия конструкций перекрывающих залы, света и тени, за счет включения восьмиугольных и овальных нимфеев, апсид различной формы, террас расположенных на разных уровнях.

4. Некоторые объемно-планировочные элементы, составляющие Палатинский комплекс, заимствованы из архитектуры ранее построенных зданий. Например, огромная экседра дворца Домициана подобна экседре длиной 87 м виллы Ангуиллара, а вытянутая форма стадия Домициана подобна саду размером 104 на 40 м виллы Папирусов. Прямоугольный в плане дворец располагался на рельефе, от возвышенности у Римского Форума с понижением к Большому цирку. Такие сложные условия строительства в центральной части города вынуждали архитекторов совершенствовать свое мастерство, виртуозно используя все преимущества рельефа. Приемы использования рельефа освоены античными архитекторами при возведении вилл Кампании.

5. Комплекс Палатина – это палимпсест, под руинами дворцовых сооружений сохранены фрагменты ранее построенных зданий, конструкции которых инкорпорированы в структуру строящихся сооружений. При возведении дворца Флавиев были разрушены многие ранние сооружения, в том числе часть Золотого дома Нерона. В качестве основания для дворца использованы частично сохранившиеся субструкции построек республиканского периода. Под базиликой дома Домициана был обнаружен богатый дом времен Республики, а под ларарием также сохранен так называемый «Дом грифонов» самое старое здание республиканской эпохи. Примеры инкорпорирования архитектурных элементов и слияния фрагментов памятников архитектуры разных эпох многочисленны и характерны для архитектуры Рима. Эта особенность архитектуры Рима описана в статье Зейферт М.Г. Практика инкорпорирования и слияния элементов зданий различных эпох в памятниках архитектуры Рима // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (31). С. 11-17.

6. Во времена Римской республики все помещения италийских домов были направлены внутрь, открыты исключительно в атриум или перистильный дворик. В эпоху империи в композицию дворцов включается окружающий ландшафт. Объемно-планировочное решение дворца, наличие атриумов и перистилей, обеспечивает не только естественное освещение помещений, но и постоянную взаимосвязь с природой, как внутри, так и за пределами дворца. Анфилада парадных залов, нимфеев, портики, террасы дворцов на Палатине обращены на панораму Римского Форума, Капитолий, Большой цирк. «Похоже, что римляне во времена ранней империи хотели отойти от своих замкнутых внутрь эллинистических домов, чтобы насладиться окружающим ландшафтом. Новое позитивное отношение к природе, один из самых привлекательных элементов римской культуры, отчетливо проявляется в прекрасных ландшафтах и садовых сценах, которыми художник Студий украсил стены на вилле жены Августа Ливии в Прима Порта» [7, с. 42].

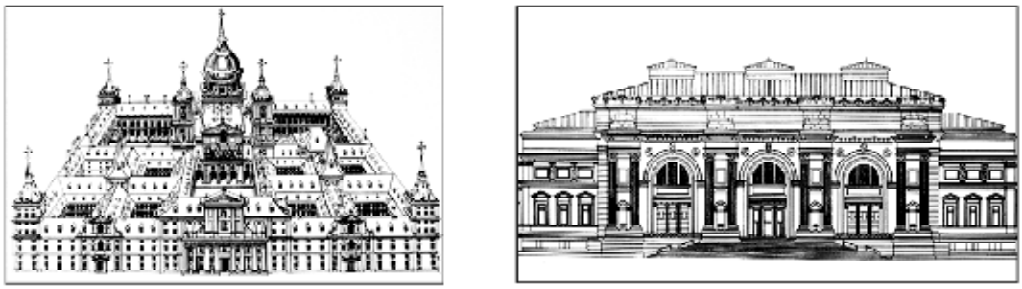
7. Территории загородных императорских резиденций не ограничены окружающей застройкой. Оси, будто случайно разбросанных по территории зданий, не параллельны, не пересекаются под прямым углом. Архитектурный комплекс виллы Адриана, построенной в 118 по 138 гг. н.э., занимает площадь более 129 га. Вилла, выстроенная на склонах Тибуртинского холма, представляет собой свободно расположенные здания различного назначения, объединенные портиками и перистилями, среди садов, бассейнов и фонтанов. Несмотря на живописность ансамбля в планировочное решение заложена

присущая итальянцам рациональность. Все объекты виллы Адриана можно подразделить на четыре зоны: зону Больших перистилей, Пойкиле, Академию и Каноп. Сооружения каждой зоны группируются вокруг своего центра, имеют несколько осей, подчеркнутых симметрично расположенными объемами, вытянутыми водоемами, апсидами (табл.).

Примеры преемственности в архитектуре, использовании приемов разработанных античными зодчими при создании зданий в XVI-XIX вв.

«В 1964 году на II Международном конгрессе архитекторов и технических специалистов по историческим памятникам в Венеции был принят нормативный документ «Международная хартия по консервации и реставрации памятников и достопримечательных мест» названная впоследствии Венецианской хартией. Основная суть принятого документа заключается в том, что монументальные произведения, несущие духовные послания прошлого, остаются в современной жизни людей свидетелями вековых традиций. Человечество с каждым днем все более осознает общечеловеческую ценность памятников, рассматривает их как общее наследие и перед лицом будущих поколений признает совместную ответственность за его сохранность» [8, с. 199]. «Опыт эффективного использования архитектурно-градостроительного и археологического наследия существует в Италии на открытом раскопками городе Помпеи» [9, с. 226]. Доступны для посещения и изучения древний город Остия, вилла Адриана, Палатин, форумы Рима и другие памятники архитектуры.

На протяжении веков возникали новые технологии возведения зданий, появлялись новые конструкции, изменялись функциональные и эстетические требования, предъявляемые к зданиям. Однако очень важно сохранение традиций, которое заключается, прежде всего, в изучении, а по возможности и применении приемов организации пространства использованных старыми мастерами. Ниже приводятся наиболее яркие примеры обращения архитекторов к античным истокам. Спустя 13 веков после возведения дворцовых комплексов на Палатине и дворца Диоклетиана (295-305 гг. н.э.) в Сплите, в Испании архитектор Хуан де Эррера возводит огромный многофункциональный комплекс – Эскориал (1563-1584 гг.).



а) б)

Рис. 1. Примеры использования приемов античных зодчих в архитектуре XVI-XIX вв.:
а) Эскориал. Дворец-монастырь, 1563-1584 [10, с. 314];
б) Нью-Йорк. Музей Метрополитен, 1880-1990 гг. [11]

Прямоугольный в плане симметричный архитектурный ансамбль размером 206 на 161 м вмещает дворец, церковь, монастырь, семинарию, больницу [12, с. 417]. Центром композиции является церковь, а расположение нефов с запада на восток, определяет направление главной оси комплекса. За алтарем по этой же оси расположен дворец, а перед церковью большой двор и главный вход на территорию комплекса. С севера на юг проходит основная поперечная ось. Архитектурная композиция Эскориала представляет собой развитие пространства относительно двух главных осей и нескольких второстепенных, на пересечении которых размещены многочисленные дворы в окружении функционально связанных групп помещений (рис. 1а). Подобный прием организации пространства, использован при создании некоторых дворцовых комплексов Рима, занимающих большую территорию, например палаццо Массима (Massimo alle

Colonne), 1535 г. [13, с. 112]. Несмотря на сложную конфигурацию участка отведенного под строительство архитектор Перуцци все помещения ассиметричного здания сгруппировал вокруг нескольких центров композиции – разных по величине дворов.

Грандиозные размеры, организация пространства терм Каракаллы вдохновили американских архитекторов при строительстве Центрального вокзала (позднее разрушенного) и входной части музея Метрополитен в Нью-Йорке [11]. В 1902 г. по проекту архитектора Ричарда Морриса Ханта была построена центральная часть здания музея. Величественный фасад, напоминающий римские триумфальные ворота, состоит из трех арок, установленных между гигантскими двойными колоннами с раскрепованным антаблементом. Колонны установлены на высокие постаменты, над колоннами перед аттиком расположены скульптурные группы (рис. 1б).

Приемы сложного композиционного построения архитектурных ансамблей античности – дворцов, вилл использовались в дальнейшем при создании многих зданий, в том числе и культовых. Например, архитектура церкви Св. Симеона Столпника в Сирии схожа по своему композиционному решению с одним из залов Золотого дома Нерона – октогоном перекрытым восьмичастным сводом с опайоном.

Строгие осевые объемно-планировочные решения античных комплексов украшали апсиды, экседры, многоугольные и полукруглые ниши. Дворцовый комплекс Пьяцца-Армерина в Сицилии преимущественно состоит из помещений сложной формы, многие из которых стали предтечами планировки христианских церквей (рис. 2а).

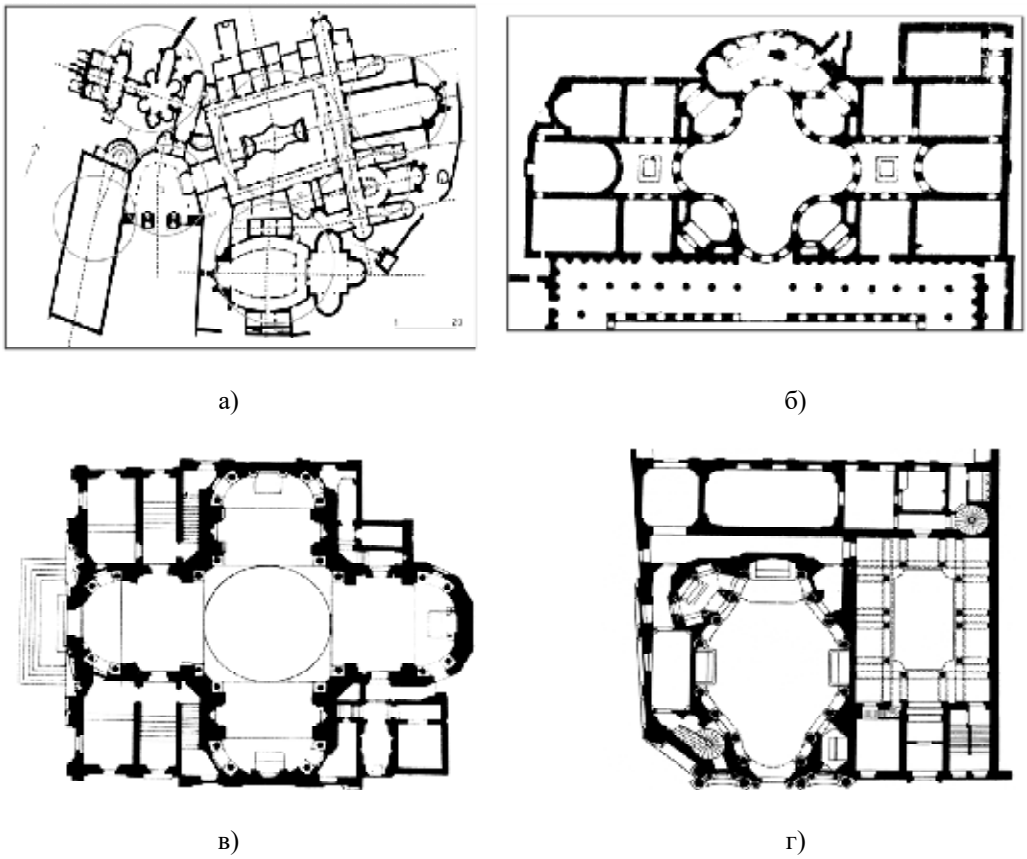


Рис. 2. Примеры использования приемов античных зодчих в архитектуре барокко:
а) Сицилия. Пьяцца-Армерина (начало 293 г.), возможно резиденция соправителя Диоклетиана Максимиана Геркулея или императора Максенция [9, с. 292];
б) Тибур. Вилла Адриана. Центральный зал Золотой площади [3, с. 636];
в) Рим, ц. Санти Лука э Мартина [10, с. 255]; г) Рим. ц. Сан Карло алле Кватро Фонтане [10, с. 254]

Главный зал Золотой площади виллы Адриана представляет собой сложное криволинейное пространство в виде креста вписанного в квадрат (рис. 2б). Помещение перекрывал восьмичастный купол диаметром около 20 м с опайоном. Через парные

колонны центрального крестообразного пространства с закругленными выступающими и западающими углами открывались смежные помещения. Напротив главного входа располагался эллипсовидный нимфей, а с боковых сторон – прямоугольные атрии. Атрии в свою очередь являлись центрами, открывающихся в них прямоугольных залов. Подобным сложным решением криволинейных пространств, применяемых античными архитекторами, несомненно, вдохновлялись мастера барокко, в частности Пьетро да

Кортона при создании в 1588 г. церкви Санти Лука э Мартина и Борромини при возведении в 1664 г. церкви Сан Карло алле Кватро Фонтане (рис. 2 в-г).

Заключение

В последние годы в России и за рубежом возводится большое количество многофункциональных зданий. В основном это высотные здания, в которых помещения различного назначения занимают по несколько десятков этажей, группируются вокруг ядра жесткости – лифтов, незадымляемых лестничных клеток, систем инженерных коммуникаций. «В связи с повышением степени урбанизации и расширением функциональных связей между жилыми и общественными элементами городской среды получили активное развитие многофункциональные жилые комплексы» [14, с. 241]. При создании подобных многофункциональных комплексов различного назначения, занимающих значительные территории, рационально применять здания различной этажности, а также использовать подземное пространство, что позволит разделить людские и транспортные потоки. Введение атриумов, используемых с древних времен архитекторами, позволит обеспечить требуемое освещение и инсоляцию, озеленить внутреннее пространство комплекса.

Значимость полученных результатов для архитектуры заключается в выявлении особенностей влияния функционального процесса на формирование и развитие зданий, на примере многофункциональных комплексов античности и возможном использовании приемов древних зодчих в современной архитектуре.

Список библиографических ссылок

1. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М. : Мир, 1973. 344 с.
2. Маркузон В. Ф., Михайлов Б. П. Всеобщая история архитектуры. В 12 томах. Т. 2. Архитектура Античного мира. М. : Стройиздат, 1973. 711 с.
3. Сонькин В. Здесь был Рим. Современные прогулки по древнему городу. М. : АСТ, Corpus, 2016. 608 с.
4. Софья Пескарин. Рим. М. : БММ АО, 2001. 168 с.
5. Грицак Е. Н. Помпеи и Геркуланум. М. : Вече, 2004. 240 с.
6. Павлов Н. Л. Архитектура. Введение в профессию. М. : Архитектура-С, 2018. 472 с.
7. Дэвид Уоткин. История Западноевропейской архитектуры. Лондон : Кёнеман, 1999. 423 с.
8. Надырова Х. Г. Хартии ИКОМОС и охранно-реставрационная деятельность в республике Татарстан : сб. ст. V Международной научно-практической конференции «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация» / КГАСУ, Казань, 2017. С. 198–203.
9. Надырова Х. Г. Градостроительно-археологические памятники как объекты массового туризма: проблемы использования и сохранения : сб. ст. Международной научно-практической конференции «Историко-культурное наследие как потенциал развития туристско-рекреационной сферы» / КазГИК, Казань, 2017. С. 223–229.
10. Кох Вильфрид. Энциклопедия архитектурных стилей. Классический труд по европейскому зодчеству от античности до современности. М. : ЗАО «БММ», 2008. 528 с.
11. Metropolitan Museum of Art-New York City. URL: https://www.newyorkcity.ru>Metropolitan Museum of Art/ (дата обращения: 08.09.2019).

12. Маркузон В. Ф., Габричевский А. Г., Каплун А. И. Всеобщая история архитектура в 12 томах. Т. 5. Эпоха Возрождения. М. : Стройиздат, 1967. 660 с.
13. Caroline Vincenti Montanaro, Andrea Fasolo. Palazzi e ville di Roma. Verona : Presso EBS, 2012. 192 p.
14. Гельфонд А. Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. М. : Архитектура-С, 2007. 280 с.

Zeyfert Marina Germanovna
candidate of architecture, associate professor
E-mail**:** zeyfertm@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Ezhov Ruslan Vinyaminovich
engineer
E-mail: ruler-07@mail.ru
LLC «PERI»
The organization address: 142400, Russia, Noginsk, «Noginsk-Technopark», 9

Features of the formation and development of large multifunctional architectural complexes of antiquity

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the features of the origin, formation and development of large multifunctional architectural complexes of antiquity: imperial palaces, villas, forums.

Results. The main results of the study are as follows: 1. The structure of multifunctional architectural complexes of antiquity created over the centuries has been revealed. Features of space-planning solutions of the complexes allow us to consider them as systems with a complex hierarchical structure, and in the study use the decomposition – partition method. Systems are studied according to one feature – the functional purpose of the elements included in them and they are divided into several levels. Based on the analysis, the sources and stages of the formation of large architectural complexes of antiquity are established.

2 The features of space-planning and compositional solutions of large architectural complexes of antiquity are revealed on the example of imperial palaces, villas and forums.

3. Examples of continuity in architecture, the use of techniques developed by ancient architects, when creating architectural complexes and buildings in the XVI-XIX centuries are presented.

Conclusions. The significance of the results is to identify the basic principles of the formation and development of large architectural complexes of antiquity, the possible use of the techniques of ancient architects in modern architecture.

Keywords: ancient architecture, multifunctional architectural complexes, space-planning structure, architectural composition, continuity.

References

1. Mesarovich M., Mako D., Takahara I. The theory of hierarchical multilevel systems. M. : Mir, 1973. 344 p.
2. Markuzon V. F., Mikhailov B. P. The general history of architecture. In 12 volumes. V. 2. The architecture of the ancient world. M. : Stroyizdat, 1973. 711 p.
3. Sonkin Victor. Here was Rome. Contemporary walks through the ancient city. M. : AST: Corpus, 2016. 608 p.
4. Sophia Pescarin. Rome. M. : BMM AO, 2001. 168 p.
5. Gritsak E. N. Pompeii and Herculaneum. M. : Veche, 2004. 240 p.
6. Pavlov N. L. Architecture. Introduction to the profession. M. : Architecture-S, 2018. 472 p.

7. Watkin David. History of Western European Architecture. London : Köneman, 1999. 423 p.
8. Nadyrova K. G. The charters of ICOMOS and conservation and restoration activities in the Republic of Tatarstan : dig. of art. of V International scientific and practical conference «Cultural heritage in the XXI century: preservation, use, popularization» / KGASU, Kazan, 2017. P. 198–203.
9. Nadyrova K. G. City-planning and archaeological monuments as objects of mass tourism: problems of use and preservation : dig. of art. International scientific and practical conference «Historical and cultural heritage as a potential development of the tourist and recreational sphere» / KazGIK, Kazan, 2017. P. 223–229.
10. Koch Wilfried. Encyclopedia of architectural styles. Classical work on European architecture from antiquity to the present. M. : ZAO BMM, 2008. 528 p.
11. Metropolitan Museum of Art-New York City. URL: https://www. newyorkcity.ru>Metropolitan Museum of Art/ (reference date: 08.09.2019).
12. Markuson V. F., Gabrichevsky A. G., Kaplun A. I. General history of architecture in 12 volumes. V. 5. Renaissance. M. : Stroyizdat, 1967. 660 p.
13. Caroline Vincenti Montanaro, Andrea Fasolo. Palazzi e ville di Roma. Verona : Presso EBS, 2012. 192 p.
14. Gelfond A. L. Architectural design of public buildings and structures. M. : Architecture-S, 2007. 280 p.

УДК 72.03
Кисельникова Дарья Юсуфовна
ассистент
E-mail: kiselnikova.darya@yandex.ru
Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств
Адрес организации: 630099, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 38

Влияние столичной архитектуры на формирование архитектуры многоквартирных жилых зданий Новосибирска в конце XX-начале XXI вв.

Аннотация

Постановка задачи. Целью данного исследования является определение влияния столичной архитектуры, как одного из факторов формирования архитектуры многоквартирных жилых зданий г. Новосибирска в конце XX-начале XXI вв.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выявлении тенденции формирования архитектуры многоквартирных жилых зданий столичных городов и в установлении выражения этих тенденций в архитектуре многоквартирных жилых зданий Новосибирска в конце XX-начале XXI вв.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в определении изменения влияния столичной архитектуры на формирование архитектуры многоквартирных жилых зданий г. Новосибирска в конце XX-начале XXI вв., и в установлении связи этих изменений с трансформацией социально-экономической и политической систем России в это время.

Ключевые слова: жилые здания, архитектура Новосибирска, стили, советский модернизм, постмодернизм.

Введение

Современные социологические и географические исследования указывают на связь в той или иной степени идей создания «культурного ландшафта страны» с формированием архитектурного облика городов. Описывая «портрет культурного ландшафта» России В. Каганский отмечает «отсутствие полноценных горизонтальных связей между местами», что является естественным свидетельством «абсолютной централизации и моноцентричности: все места связаны друг с другом исключительно через единый центр» [1]. Такое устройство отражается, прежде всего, на оценке качества городской среды и региональных особенностей архитектуры.

В России сложно говорить об обособленных региональных архитектурно-художественных школах. Для сравнения можно привести Германию, где, несмотря на общеевропейские тенденции к глобализации, по-прежнему прослеживаются традиции архитектурных школ разных федеральных земель. В России порой возникают яркие региональные явления (такие как «Нижегородская школа» конца 1990-х гг.) [2], но носят они во многом единичный характер и быстро теряются на фоне побеждающих идей централизации. Такие примеры можно найти в исторических городах со сложившимися архитектурно-реставрационными школами, формирования которых происходило в рамках масштабных восстановительных работ послевоенного периода [3]. В более молодых городах, основное развитие которых пришлось на советского время и где исторические традиции не столь сильны – таких как Новосибирск – большее значение приобретают стилистически эпохальные тенденции развития архитектуры, транслируемые из столичных городов.

Переход от плановой централизованной системы к свободной рыночной экономике в 1990-х гг. ослабил столичное влияние и создал условия для формирования местных архитектурных школ. Особенно заметно это проявлялось в архитектурной идеологии и типологии многоквартирных жилых зданий, где на смену массовому домостроению приходят реализованные по индивидуальным проектам жилые дома и комплексы.

Для определения степени влияния столичной архитектуры, как одного из факторов формирования архитектуры многоквартирных жилых зданий Новосибирска в конце XX-

начале XXI вв., был проведен сравнительный анализ соответствующих построек и тенденций, характеризующих жилищное строительство данного периода, Новосибирска и столичных городов (Москвы и Санкт-Петербурга).

Для анализа отобраны примеры построек, которые наиболее ярко отражают те или иные стилевые тенденции архитектуры многоквартирных жилых зданий рубежа XX-XXI вв.

Позднесоветская архитектура жилых многоквартирных зданий

Позднесоветское жилое строительство всех городов России было представлено главным образом массовым типовым домостроением [4]. Индивидуальные проекты жилых комплексов были довольно редкими, но именно благодаря им мы можем судить о том, какие идеи были популярны среди архитекторов конца 1980-х гг.

Строительство жилых домов и комплексов по индивидуальным проектам закладывалось при разработке новых крупных жилых районов. Такие объекты размещались вдоль магистралей, и, следуя принципам ступенчатого обслуживания, включали в себя дополнительные функции, формируя общественные центры жилых районов. Примеры таких комплексов встречаются как в столичных городах – например, жилой дом на Комендантском проспекте, 28к1 (Санкт-Петербург, 1989-1994 гг., арх. В. Реппо, В. Грищенко) и жилой дом на проспекте Энгельса, 139 (Санкт-Петербург, 1990-1994 гг., арх. Н. Апостол), так и в Новосибирске – административно-жилой комплекс на Вокзальной магистрали (1993-2003 гг., арх. А.Агафонов, А. Скоробогатько, В. Тропезников) и застройка микрорайона по ул. Шевченко (1980-1990-е гг., арх. В. Бородкин, А. Бондаренко, Е. Васехо, В. Федоскина, «Новосибгражданпроект») (рис. 1).

Рис. 1. Микрорайон по ул. Шевченко, 1990-1998 гг.,
арх. В. Бородкин, А. Бондаренко, Е. Васехо, В. Федоскина (иллюстрация автора)

Другие объекты, также требующие индивидуального подхода – специализированные жилые комплексы для различных ведомств. В качестве примера можно привести жилой дом «Парк Плейс» (Москва, 1990-1992 гг., арх. Я. Белопольский, Л. Вавакин, Н. Лютомский, Ю. Эрдемир), спроектированный и построенный для нужд МИДа. Здание предназначалось для размещения иностранных граждан и изоляции их от города, вся необходимая для комфортного проживания, инфраструктура располагалась на территории комплекса.

Вышеописанные дома и комплексы выполнены в рамках эстетики советского модернизма и имеют ряд общих черт.

В объемно-планировочных решениях наблюдается отказ от типовых схем и попытки экспериментов, как с общей компоновкой, так и с планировками квартир. Архитекторам удавалось обосновывать применение двух- и трехуровневых квартир. В комплексе, построенном для МИДа, почти все квартиры были многоуровневыми, за счет этого фасад разбивается ярусами галерей, куда выходили квартиры.

Важной частью этих зданий становятся помещения общественного назначения, располагаемые на первых этажах или во встроенно-пристроенных блоках. При этом ключевой задачей для архитекторов становится зонирование «общественных» и «частных» пространств, и изоляция внутридворовых территорий.

В архитектурном облике этих построек следует отметить стремление к созданию выразительного силуэта. В зданиях столичных городов чаще всего это достигается за счет возвышения объемов лестничных клеток, в Новосибирских постройках активно используется переменная этажность. В целом, заметно стремление к созданию яркого индивидуального образа здания и использовании артикулированной крупной пластики фасада.

В качестве облицовочных материалов фасада использовались кирпич и бетон. К сожалению, в процессе реализации в сложных экономических условиях начала 1990-х гг. замыслы архитекторов удавалось реализовать не в полной мере. При строительстве жилых домов в Санкт-Петербурге в начале 1990-х гг. пришлось заменить «двухцветный лицевой кирпич на самый дешевый силикатный» – как отмечал в своем интервью архитектор Владимира Реппо (Статья «Трехэтажное счастье» в газете «Санкт-Петербургские ведомости» № 081 (6190) от 10.05.2018). А уже в процессе эксплуатации фактура серого бетона фасада «Парк Плейс» скрылась за белой плиткой вентилируемого фасада – тем самым уничтожив грубоватую модернистскую эстетику голого бетона [5].

Описанные выше примеры многоквартирных жилых зданий позднесоветского периода Новосибирска и столичных городов, формировались в условиях плановой экономики, где заказчиком выступало государство (в лице ведомств, министерств или отдельных производств). И, несмотря на то, что порой «система» позволяла отклоняться от минимальных унифицированных показателей – в целом, действовал принцип создания равных условий для всего жилищного строительства государства – действовало «программное уравнительство советского времени», как описывает это явление А.В. Иконников [6].

Постсоветская архитектура жилых многоквартирных зданий (середины 1990-х гг.)

Со становлением рыночной экономики и расслоением населения характер жилищного строительства меняется. Постепенно начинают формироваться социальные группы с высоким доходом, стремившиеся «отделится от сложившейся унифицированной среды» [6]. В стремлении удовлетворить эти потребности, начинают появляться первые небольшие изолированные жилые комплексы с обособленным внутренним пространством дворов.

Один из первых комплексов такого рода, спроектированный и реализованный в России в начале 1990-х гг., является кондоминиум в Купчино (жилой комплекс «Айвенго», Санкт-Петербург, 1993-1995 гг., арх. Е. Герасимов, В. Хиврич, И. Бахорина, Т. Кузнецова, З. Петрова). Комплекс состоит из 24 блокированных коттеджей и одного секционного крестообразного в плане дома. В границах комплекса создана внутренняя улица с обращенными на неё придомовыми садами, а снаружи комплекс выглядит как «крепость» с массивными кирпичными стенами и небольшими «окнами-бойницами».

В Москве примером такого подхода к четкому выделению внутреннего пространства – является жилой дом в проезде Загорского, 11 (1999-2000 гг., арх. В. Плоткин, И. Деева, С. Крючков, И. Русских), состоящий из двух параллельных корпусов (5- и 7-этажных). Эти корпуса соединяются поперечными блоками, благодаря чему образуется анфилада дворов-атриумов. На нижних этажах одного из блоков размещены двухуровневые квартиры с отдельными входами и гаражами.

В Новосибирске в 1998-2000 гг. строится несколько подобных комплексов, где комбинируется блокированные и секционные дома и формируется изолированное внутреннее пространство – один из них жилой дом по ул. Инская, 67 (1999 г., арх.

А. Лаптяйкин) (рис. 2). Комплекс состоит из семи блокированных домов и четырех секционных. Причем, если подобные жилые комплексы в Москве и Санкт-Петербурге максимально изолированы от внешней застройки, то первые этажи в новосибирском комплексе изначально отводились под общественные функции. В том числе в блокированных домах, где предполагалось размещение небольших мастерских на первых этажах с выходом на улицу, и входом со двора для жильцов верхних этажей. Со временем, однако, большая часть блокированных домов потеряла жилую функцию и теперь используется для размещения офисов.

Рис. 2. Жилой дом по ул. Инская, 67, 1999 г., арх. А. Лаптяйкин (иллюстрация автора)

В целом, для первых жилых комплексов, построенных в условиях становления рыночной экономики, как в столичных городах, так и в Новосибирске, характерны небольшой масштаб и этажность, формирование закрытого внутреннего пространства двора-атриума (Москва, Новосибирск) или внутренней улицы (Санкт-Петербург), комбинация блокированных и секционных домов (от 3-х до 7-ми этажей в высоту), небольшое количество квартир (40-80) большой площади (до 300 м²).

Внешний облик этих первых «элитных» жилых комплексов был довольно аскетичным. При этом, если жилой дом в проезде Загорского, 11 выстроен в рамках сдержанной модернистской эстетики, то в ЖК «Айвенго» и жилом доме по ул. Инская, 67 прочитываются явные постмодернистские аллюзии на петербургский классицизм и сибирский модерн соответственно.

В более крупных жилых зданиях середины 1990-х гг. также наблюдается стремление к созданию замкнутых изолированных дворов. В архитектурных решениях этих построек заметно переплетение эстетики позднесоветского модернизма и ранних постмодернистских идей.

В столичной архитектуре это можно увидеть на примере ЖК «Синяя птица» (Москва, 1996-1998 гг., арх. Н.Лютомский, Ю. Григорьев, Г. Тереньтьев) и жилого дома на Гражданском проспекте (Санкт-Петербург, 1998-1999 г., арх. С. Гурнов, Д. Шавкунов, Р. Доминов), а в Новосибирске – в архитектуре жилого дома по ул. 1905 года, 2 (1998 г., арх. Н. Деев). В облике последнего заметно тяготение к бруталисткой массивности, которая при этом контрастирует с «неуместным» штукатурным декором обрамлений окон.

Постмодернизм в архитектуре жилых многоквартирных зданий (рубежа XX-XXI вв.)

В середине 1990-х гг. наблюдается расцвет постмодернистских поисков в архитектуре России, что, в первую очередь, связано со строительством в исторической среде центра. Для столичных городов эти «постмодернистские» искания были направлены на сохранение многоликой исторической среды [7], (что порой под натиском требований властей и заказчиков выливалось в откровенный эклектизм).

Историзм удовлетворял не только коммерческим запросам формирующегося спроса «на отрицании типового жилья», но и вкусам политической элиты. Наиболее заметно это в архитектуре Москвы, где обобщенное влияние городских властей на архитектурный облик новых построек получил название «лужковского стиля». Примечательным тут является то, что «...фигурой собравшей московский [лужковский] стиль, был не архитектор, а городская власть – Юрий Михайлович Лужков» [8]. «Лужковский стиль» – условное понятие. Этот «стиль» стилем не является и не имеет единых стилистических черт, но само появление такого понятия указывает на обстановку, в которой приходилось работать московским архитекторам рубежа XX-XXI вв.

Источниками заимствований для столичных архитекторов становились различные образцы, во многом это зависело от окружающего контекста, а также от вкуса архитекторов, заказчиков и власти (в лице Москомархитектуры). В архитектуре жилых зданий Москвы рубежа XX-XXI вв. можно найти отсылки и к неорусскому стилю (как в облике жилого дома в 1-м Хвостовом переулке, 5; 1997 г., арх. А. Щукин, М. Леонов), и к классицистическим мотивам, смешанным с эклектикой (например, ЖК «Коперник», 2000-2006 гг., арх. С. Ткаченко, Е. Лякишева, Г. Ким, Е. Аулова, М. Мамонтова). Эклектизм также встречается в Петербургских жилых зданиях этого времени (ЖК «Евросиб», 1995-1998 гг., арх. М. Рейнберг, А. Шаров). Отдельные примеры в архитектуре северной столицы отсылают к местному модерну рубежа XIX-XX вв. – например, жилой дом «Северный модерн на Петроградской», построенный в 1999 году по проекту Е. Подгорнова.

В целом, для этих жилых зданий характерны небольшой масштаб, дополнение (восстановление) существующей исторической квартальной застройки, небольшое количество квартир.

Проявление идей историзма в архитектуре Новосибирска, в отличие от столичных городов, не всегда было связано с включением новых зданий в сложившийся контекст. Здесь сохранилось сравнительно немного фрагментов исторической застройки рубежа XIX-XX вв., а основная часть города представлена зданиями второй половины XX века. Таким образом, перед архитекторами зачастую стояла задача не «встроиться» в существующий контекст, а «создать» его. Для строительства в центральной части Новосибирска, где сохранились фрагменты исторической квартальной структуры, важным становится закрепление планировочной сетки. Так было сделано при строительстве жилого дома по ул. Щетинкина, 32 (1997 г., арх. А. Лаптяйкин). В архитектуре комплекса используются отсылки к образам сибирского модерна – архитектуры времен начала города.

Другой подход применялся при включении новых жилых домов в сложившуюся микрорайоную застройку второй половины XX века. Здесь здания с явными историческими аллюзиями (как жилой дом на проспекте Карла Маркса, 47/1; 2003 г., арх. В. Федоскина, Н. Палей) задают своим расположением новую иерархию пространств, и активно контрастируют с окружающей типовой застройкой.

Можно отметить, что проявление идей историзма было общим для архитектуры жилых многоквартирных зданий центра, как для столичных городов, так и для Новосибирска. При этом существует разница в выборе источника исторических цитат, которые, в первую очередь, обращены к местным примерам.

При создании многоквартирных жилых домов повышенной этажности естественным источником вдохновения для архитекторов становились неоклассические московские высотки 1940-1950-х гг. Многоярусная структура, увенчанная шпилем, жилого комплекса «Триумф Палас» (Москва, 2000-2005 гг, арх. А. Трофимов) пожалуй, наиболее яркое проявление такого цитирования. Схожие приемы создания ступенчатой

композиции использовались и при строительстве жилых домов в Санкт-Петербурге (ЖК «Пулковский шпиль», 2004 г., арх. М. Бренер, В. Жуков) и Новосибирске (жилой дом по ул. С. Шамшиных, 22; 2005 г., арх. Н. Деев), однако эти здание по своему масштабу не могут посоревноваться с новыми московскими градостроительными доминантами.

В начале 2000-х гг. сохраняется запрос на камерные изолированные жилые комплексы, который переплетаясь с актуальными стилистическим запросами на «классицизм», выразился в спросе на «...так называемые дворянские таунхаусы» [8]. В основе их архитектурного облика лежит неоклассическая эстетика: ЖК «Покровское-Глебово» (Москва, 2005 г., Архитектурное Бюро Виноградова) и ЖК на Каменном острове (Санкт-Петербург, 2002 г., арх. Е. Подгорнов, А. Миронов, С. Иванова).

Московский ЖК «Покровское-Глебово» состоит из блокированных и секционных домов, при этом блокированные коттеджи и часть секций стоят на некотором отдалении от основного комплекса и не вписываются в основную симметричную композицию. Петербургский ЖК на Каменном острове состоит из 19 блокированных домов и одного блока, вмещающего в себя общие зоны отдыха. Вследствие своего положения он создает обособленное внутреннее пространство не только за счет своей структуры, но и благодаря окружающему его каналу. Здесь архитекторам в наибольшей степени удалось приблизиться к традициям петербургского классицизма.

Эти комплексы расположены в зонах, примыкающих к центру, и не ограничены плотной городской застройкой,. Подобная ситуация сложилась в Новосибирске в районе ул. Шевченко, где в 2005 году строится изолированный жилой комплекс малой этажности (ул. Шевченко, 17, арх. Н. Казаков, И. Сморгович), облик которого, по замыслу архитекторов, должен был отсылать к традициям классицизма. Однако в процессе реализации от значительной части декора пришлось отказаться. Сам комплекс состоит из 18 блокированных домов и имеет симметричную композицию плана.

Кроме историзма и контекстуализма (явно поощряемого властями в Москве, а вслед за этим и в других регионах) следует также указать на постройки, в которых постмодернизм выражался через игру, иронию и образность, а не в явных исторических аллюзиях (что приближает такие проекты к западным примерам).

Одним из таких зданий является жилой дом в Брюсовском переулке (Москва, 2003-2007 гг., арх. А. Бавыкин, М. Марек, Г. Гурьянов, Ю. Раннева, Д. Травников), украшенный необычными «колоннами», своими очертаниями напоминающие стилизованные стволы деревьев. Такой театральный прием контрастирует как с аскетичной плоскостью основного фасада, так и с исторической окружающей застройкой.

Контраст и ироничное противоречие между внешним и внутренним стали основой архитектурного решения другой постройки, реализованной в уже северной столице – жилого дома «Люмьер» (Санкт-Петербург, 2003-2008 г., арх. С. Падалко, А. Виноградов, О. Шурупова, А. Берзинг, Е. Волошин, Е. Волошина, Л. Бараник, Е. Никитина, А. Рогаткин). Здесь, обращенный к основным улицам, сдержанный фасад с ритмичной сеткой оконных проемов и входных групп первых этажей, облицованный натуральным камнем, контрастирует с криволинейной фасадной конструкцией внутреннего двора, составленной из цветных стекол.

Архитекторы Новосибирска также обращались к европейскому опыту постмодернистской иронии. В Новосибирской архитектуре это влияние выражалось главным образом в цитировании европейских примеров (построек Альдо Росси). Что хорошо заметно по решениям деталей фасада жилого дома по ул. Октябрьская, 34 (Новосибирск , 1998-2001 г., арх. В.Н. Филиппов, Н.З. Казаков).

Неомодернизм в архитектуре жилых многоквартирных зданий рубежа XX-XXI вв.

Ответной реакцией на распространение историзма и эклектизма в архитектуре (получившее поддержку со стороны властей) в Москве стало становление идей средового подхода, опирающегося на сдержанную неомодернисткую эстетику. Как отмечает Г. Ревзин: «...в 1990-е гг. русские архитекторы заявили новую повестку дня: новая архитектурная форма, модернистская архитектура, такая же, как на Западе, которая

делает Россию европейской страной. Сопротивление этой повестке со стороны властей её усиливало: архитектура входила в резонанс с собственной тягой к обновлению» [8].

Первые эксперименты с принципами «средового подхода» проводились еще в 1970-80-е гг. [9], в том числе на региональном уровне, однако полигоном для выработки обновлений градостроительных принципов в новых экономических условиях становится московский район Остоженки. Главной задачей для архитекторов здесь было сохранение исторически сложившейся среды.

Проблемой реконструкции этого района в 1990-е гг. занимался небольшой авторский коллектив под руководством А. Скокана (в последующем бюро стало носить название АБ «Остоженка»). Одними из первых построек здесь были жилые дома в 1-м Обыденском переулке (Москва, 2001-2003 гг., арх. А. Скокан, Д. Гусев, И. Вахонин). Опираясь на морфологические принципы существующей застройки, и обладая умеренным модернистским дизайном, новые здания здесь остаются незаметными постройками «второго плана».

Этот пример включения новой «модернисткой» архитектуры в историческую застройку стал образцом реализации формирующихся принципов современного отечественного средового подхода, отличительными чертами которого становились следование исторической морфологии участка, сдержанный модернистский дизайн фасада, «подчинение» новых объектов, окружающей застройке (строительство «зданий второго плана»), высокая плотность застройки (в том числе для достижения экономической эффективности и рентабельности нового строительства).

Более контрастными по отношению к исторической ткани города стали другие жилые дома, расположенные недалеко от объектов АБ «Остоженка» – жилой дом в Молочном переулке, 1 (2000-2003 гг., арх. Ю. Григорян, П. Иванчиков, И. Кулешов, А. Павлова, Ю. Гунина, Т. Короткова, И. Скачков, С. Сидоренко) и на Бутиковском переулке, 3 (2002-2005 гг., арх. С. Скуратов, В. Рыжкова, Н. Ишутина, Ю. Ковалева, А. Медведев, П. Карповский, П. Шалимов, Н. Демидов, В. Данилов). Дом, разработанный Ю. Григоряном, своей формой плана меняет морфологию застройки, создавая новое пространство перекрестка улиц. Новый контекст создает и композиция жилого дома по проекту С. Скуратова, состоящего из отдельных блоков, облицованных камнем и панелями из патинированной меди.

В последних двух проектах особенно заметно влияние актуальной европейской архитектуры, которое обнаруживается, в том числе, в использования зарубежных (специально привезенных) материалов отделки. Всё это должно было подчеркнуть статусность этого элитного жилья.

Примеры создания такой «европейской» модернистской элитной жилой архитектуры встречаются главным образом в Москве. Среди примеров, опирающиеся на те же принципы и эстетические ориентиры, в других городах можно привести «Дом у моря» построенный в Санкт-Петербурге в 2005-2008 гг. Над созданием этого проекта трудился смешанный коллектив, в котором, помимо сотрудников российского бюро «Евгений Герасимов и партнёры», трудились и специалисты немецкого бюро с российскими корнями «НПС Чобан Фосс». Сам комплекс расположен недалеко от гребного канала и состоит из нескольких отдельных корпусов (3-4 и 4-6 этажей), стоящих на общей платформе. Комплекс имеет сложную форму плана, благодаря которой организуется внутренняя пешеходная зона. Основным материалом отделки здесь является камень разных фактур.

Восприятие актуальной европейской архитектуры впоследствии помогло крупнейшим столичным бюро выходить на европейский рынок и создавать проекты за рубежом [10, 11]. Эти постройки встали в один ряд с образцами европейской архитектуры, не связанной непосредственно с отечественными традициями.

Описанные выше примеры объединяют схожие черты: высокая плотность застройки, при сохранении небольшой этажности, сдержанная модернистская эстетика простых и лаконичных форм, использования дорогих натуральных материалов отделки (в первую очередь – натурального камня). Идеи «средового подхода» не получили распространения в архитектуре жилых зданий Новосибирска начала XXI в. Во многом это обусловлено фрагментарностью исторической застройки.

Другой стороной проявления неомодернистской эстетики на рубеже XX-XXI вв. стали крупные жилые дома и комплексы, при создании которых архитекторы опирались главным образом на традиции российского авангарда XX века. Такие постройки как ЖК «Город яхт» (Москва, Ленинградское шоссе, 37; 2003-2008 гг., арх. Н. Лызлов, М. Капленкова, А. Подъемщиков, Н. Липилина, Л. Капрова) и жилой дом «Парус» на Ходынском поле (Москва, 2003-2007 гг., арх. А. Боков, Б. Уборевич-Боровский, С. Нарольский, А. Николашин, Т. Зайцева) отличаются особой выразительностью и образностью.

ЖК «Город яхт» расположен недалеко от 16-этажных башен экспериментального квартала «Лебедь» (построен в 1967-1973 гг.), и это соседство стало отправной точкой для идеи образа нового комплекса. Архитектор пытался переосмыслить идею «горизонтального небоскреба», который бы контрастировал с вертикальными объемами башен. Однако от изначального замысла в процессе реализации пришлось отклониться – построенное здание имеет переменную этажность и уходит вниз по рельефу. В результате появился трехсотметровый протяженный дом, состоящий из 9 секций, напоминающий своими очертаниями лайнер, нависающий над берегом Химкинского водохранилища.

Жилой дом «Парус» на Ходынском поле – яркий архитектурно-пластический жест, который должен был соответствовать масштабу окружающей его «пустоты» нового района. В самой архитектуре дома его типологическая принадлежность и секционная структура практически не считывается, что еще больше заставляет воспринимать дом, как огромный скульптурный объект.

Несмотря на то, что наследие архитектуры советского авангарда (в том числе жилых зданий) является важной частью Новосибирска, в проектах рубежа XX-XXI вв. эти традиции не были явно представлены. Переосмысление наследия конструктивистов проявилось в основном в цитированиях их приемов в постмодернистском изложении, где они перемежались с отсылками к архитектуре других стилей – как в облике жилого дома по ул. Ядринцевская, 46а. Попытки создания крупных объектов со сложной объемно-пространственной композицией, таких как ЖК «Эльбрус» (2005-2015 гг., арх. В. Фефелов, В. Кан, Т. Голяковская), сильно уступают по выразительности московским примерам.

Возвращение к рационалистической традиции в архитектуре жилых зданий Новосибирска наблюдается в 2010-х гг. На смену преобладания постмодернистских идей и стремлений к «декорированию фасадов» [12] пришла новая волна влияния столичной архитектуры.

Рис. 3. Жилой дом на Декабристов, 41, 3-я очередь строительства, 2017 г. (иллюстрация автора)

В отделку фасадов возвращаются штукатурка и кирпич, что связано с распространением соответствующих технологий – это сделало возможным использовать лаконичный язык рационалистической архитектуры в полной мере. В первую очередь проявление этой эстетики можно заметить в проектах крупных всероссийских застройщиков (рис. 3) – например, в домах ООО «Брусника» (в жилом доме по ул. Декабристов, 41, и по ул. Дунаевского, 2016-2018 гг.). Но постепенно и другие застройщики начали включаться в рационалистическое движение, например, жилой комплекс MilkHouse (2015 г., ул. Урицкого, 6; здание вошло в шорт-лист проекта «Приметы Городов-2017»). При этом с градостроительной точки зрения эти комплексы по-прежнему воспроизводят микрорайонный паттерн [13]. В общих решениях фасадов этих зданий наблюдается стремление к простоте и лаконичности форм и минимальной пластике. В отделке используется кирпич и штукатурка – на комбинации этих фактур строится основное членение фасада, а монотонность разбивается комбинацией разных по размерам оконных проемов.

Заключение

В результате сравнительного анализа архитектуры многоквартирных жилых зданий Новосибирска и столичных городов России конца XX-начала XXI вв. определен характер влияния столичной архитектуры на формирование архитектуры многоквартирных жилых зданий Новосибирска конца XX-начала XXI вв., который со временем изменялся:

- в период массового советского индустриального домостроения это влияние было определено политической и экономической централизацией, и соответствующей системой организации проектирования, при которой большинство типовых проектов многоквартирных жилых зданий разрабатывались в столичных проектных институтах. Однако в конце 1980-х гг. наблюдается постепенное ослабление централизации (связанное с политикой перестройки) и усиление роли местных архитекторов. В конце 1980-начале 1990-х гг. в Новосибирске начинают проектировать и строить несколько крупных жилых комплексов по индивидуальным проектам, которые имели ряд общих черт со столичными постройками того же времени; в них наблюдается отказ от типовых схем, экспериментирование с компоновками жилых секций и планировками квартир; применение многоуровневых квартир, включение в жилые комплексы общественных функций, выделение «общественных» и «частных» пространств, и стремление к изоляции внутридворовых территорий; превалирование эстетики советского модернизма и стремление к созданию выразительного сложного силуэта здания. При этом если для столичных примеров характерно стремление к формированию квартальной структуры, то для Новосибирска к созданию сложных многоплановых композиций и системы связанных дворовых пространств;

- смена политической и экономической системы в 1990-е гг. сопровождалась общими тенденциями децентрализации и повышения роли местных органов самоуправления. Непосредственное влияние столичной архитектуры на формирование архитектуры многоквартирных жилых зданий Новосибирска ослабляется. При этом можно отметить общие черты первых коммерческих жилых комплексов Новосибирска и столичных городов: формирование изолированного внутреннего пространства двора, небольшое количество квартир большой площади, применение многоуровневых квартир, эксперименты с включением блокированных и секционных жилых домов в структуру комплексов. Внешний облик этих первых коммерческих построек был довольно аскетичным;

- с постепенным усилением экономической и политической централизации в 2000-х гг. растет и влияние столичной архитектуры на формирование архитектуры многоквартирных жилых зданий Новосибирска. Это влияние выражалось в распространении постмодернистских идей историзма и эклектизма (эстетических установок, продвигаемых московскими властями). При этом источники постмодернистских цитирований в разных городах отличались. Для Москвы это были неорусский стиль, классицистические постройки и образцы московской эклектики рубежа XIX-XX вв. В Санкт-Петербурге – петербургский классицизм и северный модерн. А в Новосибирске – сибирский модерн и конструктивисткие постройки;

- столичный неомодернизм и развитие в рамках этой эстетики идей «средового подхода» 2000-х-начала 2010-х гг., появившийся как ответная реакция поощрения московской власти историзма и эклектизма, не получило распространения в Новосибирске. Возвращение к модернистским идеям проявляется после 2010-х гг. в рамках неорационалисткой эстетики, получившей распространение через деятельность крупных всероссийских фирм-застройщиков.

Список библиографических ссылок

1. Каганский В. Как устроена Россия? Портрет культурного ландшафта // STRELKA: Сборник 2013. М. : Strelka Press, 2013. С. 50–72.
2. Копылова Л. Вкусно! Новая архитектура Нижнего Новгорода // Проект Россия. № 4. 1997. С. 17–19.
3. Шумилкин А. С. Нижегородская архитектурно-реставрационная школа в системе отечественных школ архитектурной реставрации XX в. (опыт 1960-1990 гг.) // Приволжский научный журнал. 2019. № 2. С. 101–106.
4. Urban F. Tower and Slab. Histories of Global Mass Housing. Abingdon : Routledge, 2012. 224 p.
5. Аронов Н. Парк перестроечного периода // Коммерсантъ. 2008. URL: https://www.kommersant.ru/doc/1040739 (дата обращения: 25.08.2019).
6. Иконников А. В. Архитектура XX века. Утопии и реальность. М. : Прогресс-Традиция, 2002. Т. 2. 672 с.
7. Худин А. А. Постмодернизм в архитектуре Москвы и Санкт-Петербурга: черты сходства и отличия // Приволжский научный журнал. 2015. № 3. С. 161–165.
8. Ревзин Г. Русская архитектура рубежа XX-XXI вв. М. : Новое издательство, 2013. 532 с.
9. Фахрутдинова И. А., Ефимов Д. Д. Средовой подход в региональной архитектуре советского модернизма 1970-1980 гг. в проектировании Выставочного зала Союза Художников ТАССР в г. Казани, архитекторы: Г.А. Бакулин (руководитель авторского коллектива), Р.Х. Галеев, В.П. Мулюкин // Известия КГАСУ. 2017. № 4 (42). С. 59–67.
10. Gibson E. «Russian architecture is in a transitional state» says architect Yury Grigoryan // Dezeen. 2007. URL: https://www.dezeen.com/2017/10/23/russian-architecture-in-transitional-state-meganom-architect-yury-grigoryan/ (дата обращения: 25.08.2019).
11. Frearson A. N. How Hotel Berlin by NPS Tchoban Voss // Dezeen. 2011. URL: https://www.dezeen.com/2011/07/18/nhow-hotel-berlin-by-nps-tchoban-voss/ (дата обращения: 25.08.2019).
12. Ложкин А. Конкурс «Золотая капитель» и 10 лет новосибирской архитектуры (1996-2006) // A3D. 2006. URL: https://archi.ru/press/russia/1636/konkurs-zolotaya-kapitel-i-10-let-novosibirskoi-arhitektury-1996-2006 (дата обращения: 01.01.2019).
13. Гашенко А. Е. Формирование микрорайонных образований Новосибирска в 1950-2010-е годы // Архитектон: известия вузов. 2015. № 2 (50). С. 171–192.

Kiselnikova Darya Yusufovna
assistant
E-mail: kiselnikova.darya@yandex.ru
Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts
The organization address: 630099, Russia, Novosibirsk, Krasny prospect, 38

The influence of metropolitan architecture on the formation of the architecture of apartment buildings in Novosibirsk in the late XX-early XXI centuries

Abstract

Problem statement. The purpose of this study is to determine the influence of the metropolitan architecture as one of the factors of formation of architecture of apartment buildings of Novosibirsk in the late XX-early XXI centuries.

Results. The study revealed the main trends in the formation of architecture of apartment buildings of the metropolitan and analyzed the reflection of these trends in the architecture of apartment buildings of Novosibirsk in the late XX-early XXI centuries.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry consists in determining the change of influence of the metropolitan architecture on the formation of the architecture of apartment buildings of Novosibirsk in the late XX-early XXI centuries, and establishing the connection of these changes with the transformation of the social, economic and political systems of Russia at this time

Keywords: apartment building, architecture of Novosibirsk, styles, Soviet modernism, postmodernism.

References

1. Kaganskij V. How is Russia arranged? Portrait of the cultural landscape // STRELKA: Sbornik 2013. M. : Strelka Press, 2013. P. 50–72.
2. Kopylova L. Tasty! New architecture of Nizhny Novgorod // Proekt Rossiya. № 4. 1997. P. 17–19.
3. Shumilkin A. S. The Nizhny Novgorod architectural-restoration school in the system of domestic schools of architectural restoration of the XX century (experience of 1960-1990) // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2019. № 2. P. 101–106.
4. Urban F. Tower and Slab. Histories of Global Mass Housing. Abingdon : Routledge, 2012. 224 p.
5. Aronov N. Reconstruction period park. // Kommersant. 2008. URL: https:// www.kommersant.ru/doc/1040739 (reference date: 25.08.2019).
6. Ikonnikov A. V. 20th century architecture. Utopias and Reality. M. : Progress-Tradiciya, 2002. V. 2. 672 p.
7. Khudin A. A. Postmodernism in the Architecture of Moscow and St. Petersburg: Similarities and Differences // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2015. № 3. P. 161–165.
8. Revzin G. Russian Architecture of the 20th-21st Centuries. M. : Novoe izdatel'stvo, 2013. 532 p.
9. Fachrutdinova I. A., Efimov D. D. The environmental approach in the regional architecture of the Soviet modernism of 1970-1980-ies, in the design of the Exhibition Hall of the Union of Artists of the TASSR in Kazan, the architects: G.A. Bakulin (head of the authors group), R.Kh. Galeev, V.P. Mulyukin // Izvestiya KGASU. 2017. № 4 (42). P. 59–67.
10. Gibson E. «Russian architecture is in a transitional state» says architect Yury Grigoryan // Dezeen. 2017. URL: https://www.dezeen.com/2017/10/23/russian-architecture-in-transitional-state-meganom-architect-yury-grigoryan/ (reference date: 25.08.2019).
11. Frearson A. N. How Hotel Berlin by NPS Tchoban Voss // Dezeen. 2011. URL: https://www.dezeen.com/2011/07/18/nhow-hotel-berlin-by-nps-tchoban-voss/ (reference date: 25.08.2019).
12. Lozhkin A. Contest «Golden Captal» and 10 years of Novosibirsk architecture (1996-2006) // A3D. 2006. URL: https://archi.ru/press/russia/1636/konkurs-zolotaya-kapitel-i-10-let-novosibirskoi-arhitektury-1996-2006 (reference date: 01.01.2019).
13. Gashenko A. E. Formation of microdistricts in Novosibirsk in 1950-2010s // Arkhitekton: izvestiya vuzov. № 2 (50). P. 171–192.

УДК 727
Минибаева Альфия Рашитовна
аспирант
E-mail: minibaeva-alfiya@mail.ru
Фазлеев Марат Шигабатдинович
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: fastin@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Хайруллина Альбина Тагировна
заведующий отдела разработки проектной документации
E-mail: steffanili@mail.ru
ГБУ «Центр Культурного наследия РТ»
Адрес организации: 420015, Россия г. Казань, ул. Пушкина, д. 66/33

Выявление объектов архитектуры, расположенных в саду «Эрмитаж» г. Казани на период начала XX века

Аннотация

Постановка задачи. Целью статьи является выявление расположения дореволюционной архитектуры зданий и сооружений в планировочной структуре сада «Эрмитаж» на период начала XX века. Также в статье проводится обзор истории развития архитектуры зданий и сооружений сада «Эрмитаж».

Результаты. Основные результаты исследования состоят в сопоставлении и анализе архивных, иконографических и библиографических материалов с целью выявления зданий и сооружений в архитектурно-планировочной структуре сада.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в выявлении дореволюционных объектов архитектуры на территории исторического сада «Эрмитаж», что позволяет проследить их месторасположение, хронологию развития и стилистические особенности.

Ключевые слова: архитектурно-планировочная структура сада, графическая реконструкция и реставрация садов Казани, архитектура зданий и сооружений дореволюционного периода.

Введение

В настоящее время в РТ проходит реализация программы «благоустройство общественных пространств», в рамках которой возрождаются существующие и создаются новые парки и скверы [1]. Особое внимание уделяется реконструкции и реставрации исторических садов г. Казани, в связи с чем появляется необходимость в обращении к их истории с целью сохранения исторического облика города [2].

Сад «Эрмитаж» – одно из старейших мест Казани, имеющее культурно-историческое значение [3].

Архитектурно-планировочная структура сада, за весь период своего существования, претерпела многократные планировочные и композиционные изменения. Сад «Эрмитаж» видоизменялся от приусадебного до общественного городского сада, его архитектура многократно перестраивалась, подвергалась разрушениям и возводилась заново.

В конце XIX-начала XX вв. сад «Эрмитаж» являлся одним из излюбленных и часто посещаемых городских мест отдыха в Казани, куда стремились попасть все жители и гости города.

Сегодня имеется обширный библиографический и графический материал на данную тему, представленный в работах ученных и краеведов, подтверждающий существование сада (особый вклад в исследование исторических садов Казани внесла диссертационная работа Ю.П. Балабановой «Архитектурно-планировочная организация городских садов Казани кон. XVIII-начала XX века»).

Однако имеющийся материал не систематизирован, вследствие чего не может дать полной картины, отражающей архитектуру и планировочную структуру сада, которая востребована в настоящее время, в этом и заключается актуальность данной темы.

В статье будет рассмотрена архитектура и планировочная структура сада «Эрмитаж» на период начала XX в.

Возникновение и развитие архитектуры зданий и сооружений в саду «Эрмитаж»

Сад «Эрмитаж» расположен в исторической части г. Казани на пересечении улиц Поперечно-Горшечная (Маяковского), Собачий переулок (Некрасова), Кочетов переулок и Старо-Горшечная (Щапова). В настоящее время главный вход расположен по улице Старо-Горшечной (Щапова), до революции вход располагался на улице Поперечно-Горшечной (Маяковского).

Дата открытия сада – 1858 г.

С трех сторон, по периметру, сад окружен домовладениями. Рельеф участка овражно-холмистый, территория имеет неправильную геометрическую форму.

Расположен он на верхней террасе города, представляя собой «бельведер», с которого открывается вид на город.

В XIX в. площадь сада составляла 3,6 га.

Функции сада на период конца XIX-начала XX вв.: культурно-просветительская, прогулочная, развлекательно-увеселительная, торговая. В данный период сад могли посещать все жители города.

Посещение сада являлось платным после 6 вечера и стоило пять алтын.

До 1857 г. владельцем данной территории являлся дворянин и казанский инженер Н.Я. Воронцов. Сад в данный период носил статус приусадебного. В 1848 г., после пожара, Н.Я. Воронцов продает часть участка своему шурину А.Е. Износкову, который, в свою очередь, продает часть сада Г. Аристову, и выстраивает 2 деревянных дома.

С 1858 г. А.Е. Износков сдает часть участка в аренду частным лицам, которые благоустраивают сад. С этого периода данная территория приобретает статус общественного сада, и носит название «Износовский».

Первым арендатором сада являлся И.А. Аверин. В 1860 г. он строит летний цирк, в котором дает представление дрессированных лошадей. В это время в саду появляется электричество.

В 1862 г. сад переходит в аренду предпринимателю Ожигову. В саду появляется первый в Казани летний театр с рестораном и музыкой, беседки, галереи, эстрадные площадки, мосты через овраги. Продолжает действовать цирк, возведенный И.А. Авериным. Сад получает новое название «Александровский».

В 1870 г. сгорел летний театр.

В 1880-е г. в саду открывается здание соединенного собрания.

В 1886 г. реконструирован летний театр в северной части сада, недалеко от калитки, соединяющей его с «Панаевским садом». Площадь нового театра была увеличена, представляла собой 4 сажени в ширину, 2 сажени в глубину и 4,5 сажени в высоту.

В 1889 г. сад переходит в собственность Р.Ф. Николаи (в 1903-1906 гг. назначен Городским Головой). «Александровский сад», а ранее «Износовский», получает новое название «Сад Николаи».

Р.Ф. Николаи покупает один из деревянных домов, принадлежавших А.Е. Износкову, и возрождает прежний цирк «Аверино».

В 1889 г. в саду «Николаи» появляется один из первых в Казани кружков – «кружок велосипедистов любителей», в который входило 60 человек, и который имел свой собственный отпечатанный устав. В сарае кружка стояло 5 мужских и 2 дамских велосипеда общего пользования.

В начале 1890 г. в саду была обустроена гоночная дорожка в 140 сажен. Дорожка активно использовалась

В 1890-х г. в саду появляется шахматный клуб.

В конце 1900 г. цирковое семейство Сур устраивает в саду школу-манеж для обучения фехтованию, верховой езде и гимнастике. Манеж имел размеры 13 сажен и 1 аршин в длину и 12 сажен в ширину. Отопление в манеже составляли 6

унтенмарковских печей (буржуек), пол был земляным. Также имелось электричество. Через год количество постоянных посетителей составляло 30 человек. Помимо занятий для взрослых, предлагались специальные занятия на пони для маленьких детей.

В это же время семейство Сур в саду организовало цирк, куда приезжали давать представления цирковые труппы со всей России.

В 1905 г. по инициативе М.М. Максимова деревянное здание манежа было приспособлено под зимний цирк, к самому зданию были пристроены места для зрителей, а вокруг него – различные постройки отвечающие нуждам цирка.

В 1906 г. на территории сада был открыт кафешантан (заведение развлекательного назначения, с эстрадой для выступления артистов, исполняющих произведения легкого, часто фривольного характера) и сад получает новое название «Эрмитаж». Впоследствии кафешантан не прижился и был закрыт.

В 1907 г. арендатором С.И. Эгерем перестраивается сцена в летнем театре, сносится примыкающий к нему старый буфет и пристраивается новый.

В данный период в саду впервые в Казани демонстрируется американский «Биограф», который являлся самым усовершенствованным аппаратом для воспроизводства живых картин.

В 1909 г. в здании шахматного клуба открывается концертный зал, где сцена размещается в зале ресторана, также зал был декорирован и иллюминирован электрическими лампочками, а в самом ресторане предлагали экзотическую кухню от «знаменитого кавказца Серого».

Именно в это заведение были приглашены все горожане для встречи конца света, который ожидался в 1910 г., при этом был существенно расширен список запретных карточных игр под девизом «Умрем, играя!».

Дорога в «Концертное зало с рестораном «Альгамбра» ярко освещалась калильными фонарями. За эту иллюминацию горожане стали называть сад «Садом фонарей».

Предположительно в данное время в саду появляется летний павильон-читальня. Здание павильона изначально было представлено на «Международной выставке мелкой промышленности, профессионального образования сельского хозяйства», проходившей в г. Казани с 4 июня по 4 сентября 1909 г. в саду Русская Швейцария, после окончания выставки его перенесли в сад «Эрмитаж». Павильон принадлежал пивоварне наследников Александровых и простоял в саду до 50-х г. XX в.

В 1910 г. сгорел летний театр.

В 1911 г. в саду появляется новое развлечение, представлявшее собой вышку, высотой в 24 аршин, на которую поднимались акробаты и прыгали в маленький бассейн, находящийся рядом.

Также в саду в данный период имелись две пожарные машины и многочисленные кадки с водой для противопожарных целей, так как все постройки, находящиеся на территории сада, были выполнены из дерева. Особой чистотой отличались туалетные павильоны, в них стояли тазы с водой для бросания окурков, а пол был обит клеенкой.

В 1912 г. сгорел цирк, последним арендатором которого являлся провизор Гренинг.

В 1913 г. «концертное зало» с рестораном «Альгамбра» было закрыто.

В 1913 г. сад «Эрмитаж» распродается по участкам частным лицам, все заведения закрываются. Предполагается сохранить только липовою аллею, которая будет в дальнейшем служить проездом.

После революции сад переходит в государственную собственность, после чего все проданные участки объединяются и сад «Эрмитаж» возрождается.

В 1920-1930-е гг. сад является одной из немногих функционирующих зеленых зон в г. Казани.

В 1930 г. сад «Эрмитаж» получает название «Сад строителей». В саду открывается летний кинотеатр, в котором проводятся концерты, продолжает функционировать летний павильон-читальня.

К концу 1930-х г. сад получает статус детского парка, но на его территории продолжают функционировать павильоны для игр, чтения и фонтан.

В 1941-1945 гг. сад приходит в запустение.

В 1950 г. возводятся летний кинотеатр и детская площадка. Здание летнего кинотеатра просуществовало не долго. Также в данный период в саду находятся фигурка слоненка, бюсты Ленина и Кирова на деревянных постаментах, которые впоследствии были утеряны.

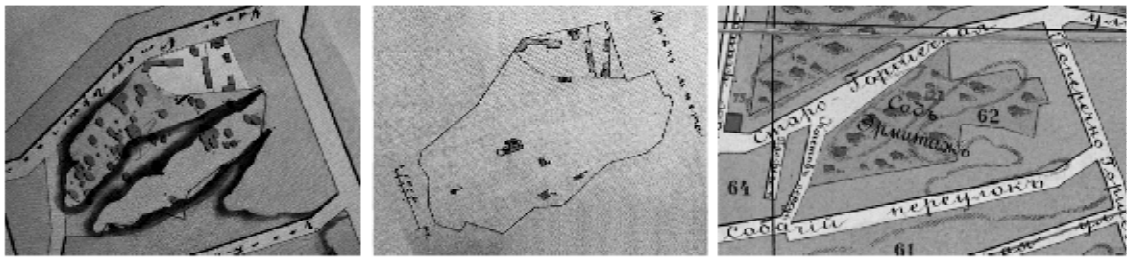
В 1961 г. был разработан проект капитальной реконструкции сада, но он не получил реализации [3-6].

Воссоздание архитектурно-планировочной структуры сада «Эрмитаж» на период начала XX в.

Согласно библиографическим источникам в саду Эрмитаж в начале XX в. располагались многочисленные постройки развлекательного и хозяйственного назначения, такие как [3-8]:

- цирк «Аверино» – возрождённый в 1889 г., сгоревший в 1912 г.;
- шахматный клуб с концертным залом «Альгамбра», построенный в 1890-х г., закрытый в 1913 г.;
- цирк, организованный в 1900 г. семейством Сур;
- деревянное здание манежа, приспособленное в 1905 г. под зимний цирк;
- пристройки, отвечающие нуждам цирка;
- кафешантан, открытый в 1906 г.;
- летний театр – построен в 1886 г., перестроен 1907 г., сгорел 1910 г.;
- летний павильон-читальня – 1909 г.;
- вышка с маленьким бассейном, построенная в 1911 г.;
- площадка для размещения пожарных машин и многочисленных кадок с водой для противопожарных целей;
- мост через овраг;
- гоночная дорожка в 140 сажен;
- туалетные павильоны.

Сопоставив материалы НАРТ (Национального архива РТ), карту Казани 1912 г. и исторические фотографии удалось выявить расположение некоторых сооружений, частично осветить планировочную структуру сада и обозначить его границы на исследуемый период времени (рис. 1).



а) б) в)

Рис. 1. Сопоставление материалов НАРТ и карты Казани 1912 г.:
а) Усадьба А.Е. Износкова 1868 г. (НАРТ Ф. 408. О. 4. Д. 141);
б) Чертеж расширения ресторана А.И. Мельникову 1900 г. (НАРТ Ф. 2. О. 15. Д.779);
в) Карта г. Казани 1912 г. (источник: http://www.etomesto.ru/kazan/)

Основываясь на данном анализе, можно сделать вывод, что:

- границы сада с середины XIX в. до начала XX в. сохраняются (рис. 1);
- рельеф участка с момента открытия до исследуемого периода практически не изменился, сад также делит на две части овраг (рис. 1);
- в 1990 г. усадьба, принадлежащая А.Е. Износкову продолжает существовать в тех же границах что и в 1864 г. (рис. 1);
- из 2-х домов построенных Износковым один дом сносится, два «места холодных служб» переделываются под один жилой дом (рис. 1);
- цирк «Аверино» располагается на южной стороне участка (рис. 1, 2);

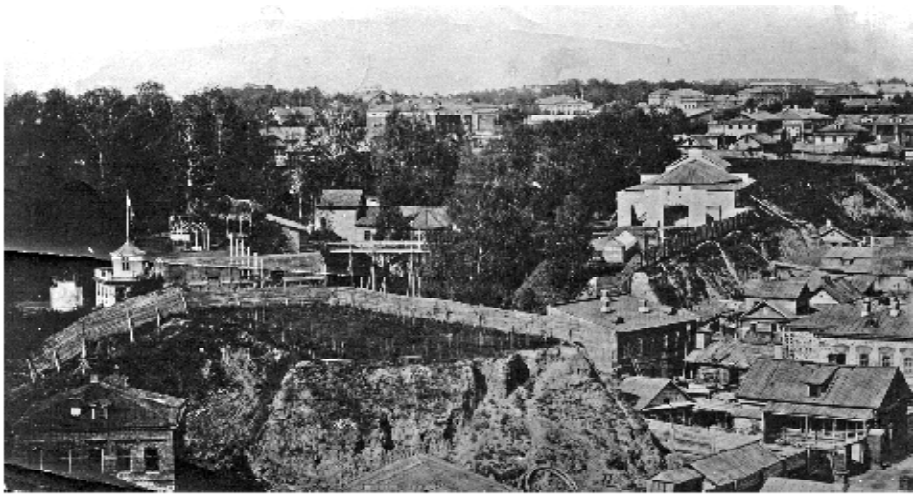


Рис. 2. Сад «Эрмитаж». Фотофиксация с каланчи по ул. Рыбнорядской (источник: https://pastvu.com)

- летний павильон-читальня и летний театр находятся на северной стороне участка, за усадьбой А.Е. Износкова;

- сооружение, располагающееся в овраге, является рестораном И.А. Мельникова, о чем свидетельствует пристрой 8 гранной формы и место расположение здания, стоит отметить, что упоминаний о И.А. Мельникове в библиографических источниках не встречается (рис. 1-3);

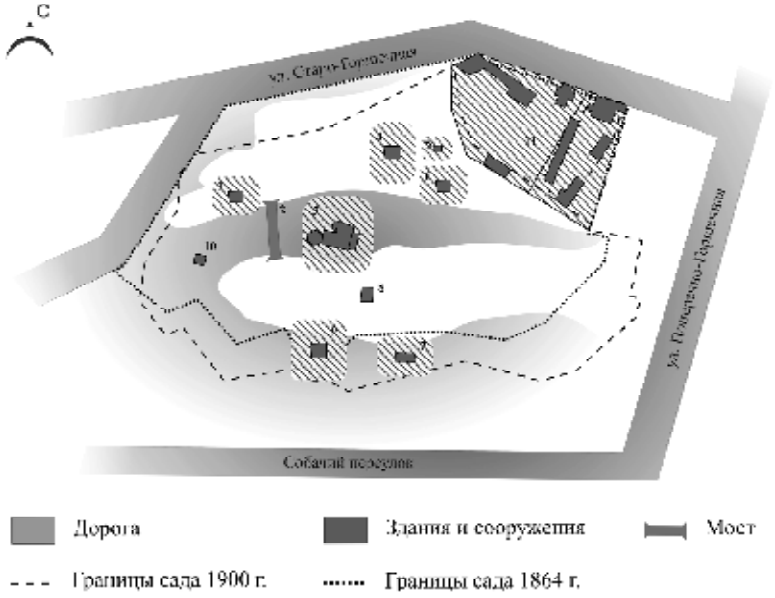


Рис. 3. Воссоздание планировочной структуры сада «Эрмитаж» на период нач. XX в. (иллюстрация авторов): 1 – здание неизвестного назначения (рис. 2); 2 – мост (рис. 2); 3 – ресторан И.А. Мельникова; 4 – здание неизвестного назначения (рис. 2); 5 – летняя сцена (рис. 4); 6 – летний павильон-читальня (рис 5); 7 – здание неизвестного назначения (рис. 2); 8 – здание неизвестного назначения (рис. 2); 9 – цирк «Аверино»; 10 – здание неизвестного назначения (рис. 2); 11 – усадьба Износкова

- мост через овраг, находится перед рестораном И.А. Мельникова с западной стороны участка, о чем свидетельствует фотография, сделанная с каланчи, расположенной вдоль Рыбнорядской улицы (рис. 2).

В ходе анализа документов НАРТ были выявлены три сооружения неизвестного назначения на юго-западной стороне участка, их крыши можно увидеть на фотографии,

сделанной с каланчи, также на данной фотографии можно отметить 3 сооружения неизвестного назначения на переднем плане, с северо-западной стороны (рис. 2).

Основываясь на данном анализе, можно предположить, что здания и сооружения в саду располагались случайно, а планировка не имела четкого функционального зонирования (рис. 3).

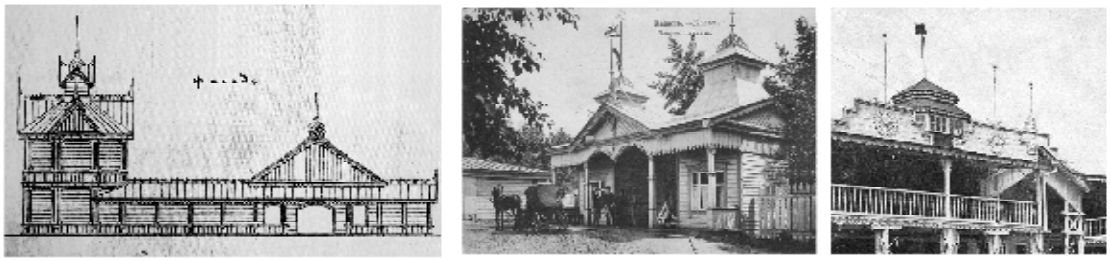
Также был проведен анализ архитектурно-стилистических особенностей зданий и сооружений, расположенных на территории сада.

На фотографиях сада с каланчи, расположенной по ул. Рыбнорядской, видно, что большая часть зданий и сооружений выполнена из дерева, окрашенного в светлые тона (рис. 2).

Цирк представляет собой деревянное здание прямоугольной формы с 2-х ярусной восьми угольной крышей и подпорными балками с 2-х сторон, элементы декора отсутствуют.

Здание, расположенное за цирком (на рис. 2 видна верхняя часть здания), также выполнено из дерева, окрашенного в светлый цвет, имеет 2-х скатную крышу.

Ресторан И.А. Мельникова, расположенный в овраге, является деревянным прямоугольным зданием в 2 этажа. В найденном архивном документе 1900 г. здание представляет собой 1-этажное сооружение с 2-х этажным восьмиугольным пристроем, скорее всего, второй этаж одноэтажной части был надстроен позднее. Элементы декора повторяют орнаменты, характерные для «Панаевского сада» (рис. 4).



а) б) в)

Рис. 4. Сопоставление материалов НАРТ и карты Казани 1912 г.:
а) Чертеж расширения ресторана А.И. Мельникову 1900 г. (НАРТ Ф. 2. О. 15. Д. 779);
б) Театр в Панаевском саду г. Казань (фото с сайта: https://pastvu.com /);
в) Павильон и ресторан в Панаевском саду (фото с сайта: https://pastvu.com /)

С левой стороны на фотографии с каланчи, на переднем плане, в северо-западной части участка располагается 2-х этажное здание со шпилем. Первый этаж представляет собой квадрат в плане, второй восьмигранник, оно также выполнено из дерева и окрашено в светлый оттенок цвета (рис. 2, 3).

За вышеуказанным зданием находится пергола со шпилем над цветочной клумбой, данная композиция – характерный элемент благоустройства садов XIX-начала XX вв.

Мост через овраг был построен по аналогу моста, находившегося в саду «Русская Швейцария».

Летний павильон-читальня (изначально принадлежавший пивоварни наследников Александровых и перенесенный в сад «Эрмитаж» с международной выставки мелкой промышленности, профессионального образования сельского хозяйства, проходившей в Казани с 4 июня по 4 сентября 1909 г. в саду Русская Швейцария) представляет собой здание, окрашенное в светлый цвет.

План павильона-читальни имеет сложную форму и мавританские мотивы в элементах декора. С течением времени часть элементов декора была упразднена, башня и два купола снесены (рис. 5).

а) б) в)

Рис. 5. Летний-павильон читальня (фото с сайта https://pastvu.com):
а) Сад «Русская Швейцария». Международная выставка мелкой промышленности, профессионального образования сельского хозяйства в Казани. Павильон пивоварни наследников Александровых. 1909 г.;
б) Сад «Эрмитаж». Павильон-читальня. 1910-1920 гг.;
в) Сад «Эрмитаж». Павильон-читальня. 1920-1930 гг.

Анализируя архитектурно-стилистические особенности зданий и сооружений сада «Эрмитаж» можно сделать вывод, что архитектура сада не выдержанна в едином стиле. Все здания и сооружения появлялись по мере необходимости [7-10].

Заключение

Сад «Эрмитаж» в XIX-начала XX вв. являлся одним из известнейших садов города, который посещали все местные жители. Являясь одним из центральных мест отдыха, он наиболее ярко отражает все события, происходящие в городе на данный период, об этом свидетельствуют дошедшие до нас архивные и библиографические материалы.

В статье воссоздана архитектурно-планировочная структура сада Эрмитаж на начало XX в.

В результате проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

- здания и сооружения в саду располагались, учитывая рельеф участка;
- планировочная структура не имела четкого функционального разграничения;
- архитектура зданий и сооружений не имела общего единого стиля, все объекты появлялись по мере необходимости;
- располагаясь в центре квартала, окруженный усадьбами, сад был органично вписан в структуру города.

Сад «Эрмитаж» представляет собой объект с богатой культурной историей. С течением времени часть территории сада и его исторические функции были утеряны. Однако сад до сих пор пользуется популярностью у горожан и является территорией тихого отдыха. Стоит отметить, что на его участке насчитывается более 500 деревьев, среди которых сохранились деревья дореволюционной посадки [11-13].

В настоящее время история, архитектура и планировочная структура сада «Эрмитаж» до конца не изучены, в связи с чем представляют научный и познавательный интерес. Материалы, представленные в данной статье, могут быть использованы при реконструкции сада.

Список библиографических ссылок

1. Парки Татарстана // PARK.TATAR : официальный сайт эскизных проектов парков РТ. 2015-2019. URL: http://park.tatar/events (дата обращения: 01.10.2019).
2. Закирова Т. Р. Возникновение типов общественных зданий Казани и эволюция принципов их размещения в структуре города в XV-XVIII вв. // Научное обозрение. 2017. № 3. С. 23–26.
3. Балабанова Ю. П. Исторические сады в архитектуре Казани // Дизайн-ревю. 2009. № 1-4. С. 67–72.

4. Агеева Л. История сада «Эрмитаж»: правда и вымысел // HISTORY-KAZAN : интернет-издание. 2018. URL: http://history-kazan.ru/kazan-vchera-segodnyazavtra/retrospektiva/17223-istoriya-sada-ermitazh-pravda-i-vymysel (дата обращения: 08.09.2019).
5. Ерунов Б. Сад «Эрмитаж в Казани // ISKE-KAZAN : интернет-издание. 2012. URL: http://www.iske-kazan.ru/111-okh-ermitazh-akh-ermitazh (дата обращения: 07.09.2019).
6. Алиев И. А. Старая Казань: Рыбная площадь – Кольцо. Казань : ПИК «Идель-Пресс», 2010. 320 с.
7. Усадьба А. Е. Износкова, 1868 г. // НАРТ, Ф. 408. О. 4. Д. 141. Л. 1.
8. Чертеж расширения ресторана А.И. Мельникову, 1900 г. // НАРТ, Ф. 2. О. 15. Д. 779. Л. 1, 2.
9. Карта г. Казани 1912 г. // ETOMESTO.RU : сайт исторических карт РФ. URL: http://www.etomesto.ru/kazan/ (дата обращения: 10.09.2019).
10. Ретро фотографии // PASTVU.COM : сайт исторических фотографий РФ. 2013. URL: https://pastvu.com (дата посещения: 15.09.2019).
11. Things to See and Best Places to Visit with Kids in Kazan, Russia // FAMILYWITHKIDS : site about tourism. 2014. URL: https://www.familywithkids.com/en/russia/reviews/things-see-and-best-places-visit-kids-kazan-russia (дата посещения: 20.09.2019).
12. The green lungs of Kazan // ENG.RUSSIA.TRAVEL : site about tourism. 2017. URL: https://eng.russia.travel/routes/322107/ (дата обращения: 02.10.2019).
13. Visit Tatarstan // VISIT.TATARSTAN.COM : site about tourism. 2017. URL: https://visit-tatarstan.com/en/places/entertainment/zoobotanicheskij_sad/ (дата обращения: 18.10.2019).

Minibaeva Alfiya Rashitovna
post-graduate student
E-mail: minibaeva-alfiya@mail.ru
Fazleev Marat Shigabatdinovich
candidate of architecture, associate professor
E-mail: fastin@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Khayrullina Albina Tagirovna
head of the department for design documentation execution
E-mail: steffanili@mail.ru
GBU «Center of Cultural Heritage of the Republic of Tatarstan»
The organization address: 420015, Russia, Kazan, Pushkina st., 66/33

Identification of architectural objects located in Hermitage Garden of the city of Kazan in the beginning of the XXth century

Abstract

Problem statement. The objective of this article is to identify location of the buildings and facilities pre-revolutionary architecture in the layout of the Hermitage Garden in the beginning of the 20th century. The article also provides the Garden buildings and facilities architecture development review.

Results. Main results of the research are provided in comparison and analysis of archival, iconographic and bibliographic materials for the purpose of identification of the buildings and facilities in the Garden layout.

Conclusions. The architectural importance of the research results is identification of pre-revolutionary architectural objects in the Hermitage Garden area that allows to trace their location, development chronology and stylistic peculiarities.

Keywords: garden layout, graphical reconstruction and restoration of Kazan gardens, buildings and facilities pre-revolutionary architecture.

Reference

1. Tatarstan Parks // PARK.TATAR : official website for detailed design of the parks of the Republic of Tatarstan. 2015-2019. URL: http://park.tatar/events (reference date: 01.10.2019).
2. Zakirova T. R. The emergence of types of public buildings in Kazan, and the evolution of the principles of their location in the structure of the city in the XV-XVIII centuries // Nauchnoe obozrenie. 2017. № 3. P. 23–26.
3. Balabanova Iu. P. Historical Gardens in Kazan Architecture // Design Review. 2009. № 1-4. P. 67–72.
4. Ageeva L. History of the Hermitage Garden: Fact and Fable // HISTORY-KAZAN : online newspaper. 2018. URL: http://history-kazan.ru/kazan-vchera-segodnyazavtra/retrospektiva/17223-istoriya-sada-ermitazh-pravda-i-vymysel (reference date: 08.10.2019).
5. Erunov B. The Hermitage Garden in Kazan // ISKE-KAZAN : online newspaper. 2012. URL: http://www.iske-kazan.ru/111-okh-ermitazh-akh-ermitazh (reference date: 07.09.2019).
6. Aliev I. A. Old Kazan: Rybnaya Square – Koltso. Kazan : «Idel-Press» Printing & Publishing Office, 2010. 320 p.
7. Iznoskov's A. E. Manor House, 1868 // NART, F. 408. D. 4. F. 141. Sh. 1.
8. Melnikov's A. I. Restaurant Extension Plan, 1900 // NART, F. 2. D. 15. F. 779. Sh. 1. 2
9. Kazan Map of 1912 // ETOMESTO.RU : website of historical maps of the Russian Federation. URL: http://www.etomesto.ru/kazan/ (reference date: 10.09.2019).
10. Retro photos // PASTVU.COM : website of historical photos of the Russian Federation. 2013. URL: https://pastvu.com (reference date: 15.09.2019).
11. Things to See and Best Places to Visit with Kids in Kazan, Russia // FAMILYWITHKIDS : site about tourism. 2014. URL: https://www.familywithkids.com/en/russia/reviews/things-see-and-best-places-visit-kids-kazan-russia (reference date: 20.09.2019).
12. The green lungs of Kazan // ENG.RUSSIA.TRAVEL : site about tourism. 2017. URL: https://eng.russia.travel/routes/322107/ (reference date: 02.10.2019).
13. Visit Tatarstan // VISIT.TATARSTAN.COM : site about tourism. 2017. URL: https://visit-tatarstan.com/en/places/entertainment/zoobotanicheskij_sad/ (reference date: 18.10.2019).

УДК 72.03
Надырова Диляра Айдаровна
старший преподаватель
E-mail: dilyaran@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Аксёнова Ирина Александровна
архитектор-реставратор высшей категории
E-mail: aksenova_ia@mail.ru
Художественная реставрационно-архитектурная мастерская Аксёновой И.А.
Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 54а

Типология многофункциональных доходных комплексов и зданий центральной части Казани в конце XIX-начале XX века

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить типологию многофункциональных доходных комплексов и зданий по преобладанию в них тех или иных внутренних функций во второй половине XIX-начале XX века и определить ее влияние на объёмно-планировочное решение объектов.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что выявлена типология многофункциональных доходных зданий Казани в зависимости от приспособления и функционального назначения внутренних площадей объектов, а также особенности объёмно-планировочных решений.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что данное исследование позволило впервые составить типологию по функциональному заполнению многофункциональных доходных зданий конца XIX-начала XX века в Казани.

Ключевые слова: многофункциональный доходный комплекс, доходный дом, архитектурный стиль, культурное наследие, приспособление, функция, типология.

Введение

Многофункциональные доходные комплексы и здания (МФДЗ и МФДК) второй половины XIX-начала XX века являются значимым архитектурным наследием для Казани. Расположенные, в большинстве своем, в историческом центре, они формируют застройку и облик центральных улиц города. Изучение архитектурно-градостроительного развития МФДЗ и МФДК позволит установить их особенности для сохранения архитектурного наследия и для развития историко-культурного и туристического потенциала Казани [1].

Архитектура многофункциональных доходных зданий и комплексов, их формирование и развитие в Казани в конце XIX в. – проблемой является взаимосвязь функционального наполнения и объемно-планировочного решения доходного здания или комплекса. Эта взаимосвязь, в свою очередь, обусловлена типологией МФДЗ и МФДК. Выявление типологии многофункциональных доходных комплексов и зданий Казани, как крупного губернского города, по функциональному назначению помещений, сложившейся в рассматриваемый период, определяет актуальность исследования. Изучение данной проблемы позволит выявить особенности формирования многофункциональных типов доходных комплексов в конце XIX-начале XX вв., как исторический опыт, важный для их современного приспособления, сохранения и развития.

Анализ историографии по теме исследования

Первые попытки изучения и обобщения опыта проектирования доходных домов относятся к периоду их активного строительства. Научные исследования доходных домов дореволюционной России, как явления отечественной архитектурной и градостроительной истории, связаны с трудами Борисовой Е.А. (Борисова Е.А., Каждан Т.П. Русская архитектура конца XIX-начала XX века. М., 1990), Кириченко Е.И. [2], Б.М. Кирикова [3].

Развитие, типологию и стилистику архитектуры Казани и Среднего Поволжья 2-й половины XIX-начала XX в. и ее региональные и национальные особенности исследовали Айдарова Г.Н., Айдаров Р.С., Нугманова Г.Г. и др. В последние годы по тематике, связанной с доходными домами, выполнены диссертационные исследования Благовидовой Н.Г., Звагельской В.Е., Куликовой И.В. и др. Авторами исследовались домовладения с доходными домами в аспекте объёмно-пространственной организации архитектуры (Надырова Д.А. Архитектурно-градостроительное развитие доходных многофункциональных зданий и комплексов Казани во второй половине XIX-начале XX века // Известия КГАСУ. 2018. № 4 (46). С. 19–28).

Доходные дома рассматриваемого периода исследовались за рубежом. Во Франции интерес представляют доходные дома периода реконструкции Парижа бароном Остерманом [4]. Ряд исследований посвящен развитию и архитектуре доходных домов в США во 2-й половине XIX-первой половине XX вв. [5, 6]. В Великобритании данный вид комплексов и домов получил распространение значительно позже, чем в Западной Европе и имел свою специфику.

Анализ историографии по теме исследования показал, что доходные дома исследовались по многим архитектурно-градостроительным аспектам. Однако исследований их как многофункциональных комплексов не проводилось.

Отбор объектов исследования

Основой для выявления доходных комплексов Казани послужили Список ОКН федерального, республиканского и местного значения, иллюстрированный каталог «Объекты культурного наследия Республики Татарстан. г. Казань, Том I». М., 2018 г. На основе их был составлен первоначальный перечень зданий, отвечающих критериям доходного здания или комплекса.

Критериями отбора служили:

- единое домовладение (парцелляция);
- соответствующее расположение в структуре города;
- наличие зданий и помещений, подходящих под различные функции (жилые, торговые, складские и т.д.);
- архитектурный облик, соответствующий представлениям о МФДК.

По объектам данного списка на основе анализа библиографических материалов были составлены исторические справки. Далее было проведено натурное обследование исторической застройки Казани для определения степени сохранности и изменений в архитектуре этих объектов, для выявления зданий и сооружений, входивших в единое домовладение с ними. Анализ материалов натурного обследования показал, что часть объектов не сохранилась, другая – имеет изменения первоначального вида, третья – утратила здания и сооружения, входившие в комплекс домовладений и т.д. При достаточности информативных историко-архивных документов, социальной и культурной значимости объекта, по характеру расположения в пространственно-планировочной структуре города и т.д. были отобраны 70 объектов, отвечающих понятию многофункционального доходного комплекса, как совокупности зданий, объединенных в общую объемно-пространственную структуру в рамках единого владения и сдаваемых в наем под различные функции. По отобранным объектам проведены архивные исследования. Выявлены документы, свидетельствующие о строительстве, перепланировках и перестройках зданий и сооружений и изменениях в домовладениях в рассматриваемый период. Все они размещались в центральной исторической части Казани, а подавляющее большинство – в первой полицейской части, где находились крупные торговые улицы.

Выявление функционального наполнения объектов исследования

Для достижения цели применен метод системного анализа, предполагающий всестороннее исследование объекта. По каждому объекту была составлена информационная карта, включающая данные библиографических и архивных источников о развитии домовладения с момента первоначального возведения объектов до состояния на конец 1910-х годов, обо всех проведенных реконструкциях зданий с выявлением

первоначальных и последующих объемно-планировочных решений, о наличии общественных заведений во все периоды существования домовладения и т.д.

Многофункциональные доходные здания и комплексы рассматриваемого периода, как правило, совмещали в себе сразу несколько функций: жилую, торговую, зрелищную, досуговую, административную, общественного питания, просветительно-образовательную, благотворительно-социальную и другие. Всё это отражало собой разнообразную и насыщенную жизнь, протекавшую в зданиях и комплексах. В разных случаях та или иная функция имела преобладающее значение, занимая большее количество помещений и площадей в здании.

Функциональная насыщенность выявленных объектов определялась по адресным и памятным книгам Казани второй половины XIX-начала XX вв. Они выпускались с определенной периодичностью. В них размещалась реклама на различные услуги и товары с указанием владельцев и адреса местонахождения. Эти сведения позволяли выявить конкретные лица, их профессии, временной период, а также различные учреждения и предприятия торговли, обслуживания и т.д., для которых сдавались в аренду здания и помещения. Дополнительная информация находится и в других библиографических источниках [7]. Иногда функциональное назначение помещений зданий указывалось на проектных планах. Анализ поэтажных планов отобранных объектов позволил увязать конкретные помещения с указанными функциями и, таким образом, установить объемно-планировочные структуры, взаимообусловленные функциональным наполнением зданий и комплексов в целом.

Установлен относительно полный перечень функций, которые реализовывались в помещениях или зданиях домовладений:

– жилая (дома, квартиры, комнаты и т.д.);

– торговая (лавка, магазин, ломбард и т.д.);

– административно-офисная (управление чем-либо, правление чего-либо, банк, контора, страховое общество, издательство, редакция и т.д.);

– общественного питания (трактир, столовая, ресторан, буфет, кафе и т.д.);

– медицинская (кабинет врача, лечебница, аптека и т.д.);

– зрелищно-досуговая (танцевальный и концертный зал, зал со сценой для театрализованных представлений, кинематограф, клубы по интересам и клубы различных обществ и т.д.);

– производственно-складская (типография, хлебопекарня, мастерская, склад, красильня и т.д.);

– образовательная (частный детский сад, частная школа, начальное училище, ремесленное училище, библиотека и т.д.);

– хозяйственно-обслуживающая (баня, конюшня, каретник (позднее гараж), дровяник, ледник, сеновал, прачечная, фотосалон, парикмахерская, сапожная мастерская и т.д.);

Здания и домовладения Казани включали эти функции в определенных сочетаниях. Отобранные объекты и здания были систематизированы по функциональному приоритету.

Типология многофункциональных доходных комплексов и зданий (МФДК и МФДЗ) по функциональному назначению

В результате анализа, выбранных для изучения объектов, была установлена типология доходных комплексов и зданий по внутреннему приспособлению по принципу преобладания одной из функций:

– I тип: Доходные комплексы и дома с преобладанием жилой функции;

– II тип: Доходные комплексы и дома с преобладанием торгово-административной функции;

– III тип: Доходные комплексы и дома с преобладанием зрелищно-досуговой функции;

– IV тип: Доходные комплексы и дома с преобладанием образовательной функции.

Типичными примерами многофункциональных доходных комплексов 1-го типа, относящихся к гостиницам и номерам, являются: номера Щетинкина (комплекс «Казанское Подворье), Гостиница «Сибирские номера», доходный комплекс Е.С. Смоленцова – Н.П. Шмелёва, гостиница «Коммерческие номера», номера «Волга»

(доходный комплекс Л.В. Кекина), гостиница «Европейская» (дом купца Л.Ф. Крупенникова), доходный комплекс купца Черноярова (гостиница «Центральные номера»), гостиница «Волжско-Камские номера», доходный комплекс «Апанаевское подворье», номера «Амур» (доходный комплекс Юнусовых), номера «Булгар», гостиница «Караван-Сарай» и т.д.

К доходным комплексам и домам с квартирами, сдаваемыми в наём относятся: комплексы и дома наследников А.М. Смоленцевой, Чернояровых, Иванова, Е.Г. Воронкова, И.Н. Аристова, И.А. Сурина, И.И. Апакова – Б-М. И. Шамиля и М.М. Галеева, Н.Н. Киселёва, А.С. Меркулова – С.С. Губайдуллина, В.Л. Ажгихина, Шакир-солдата (Шакирзяна Шамсутдинова) и т.д.

II тип. Доходные комплексы и дома с преобладанием торгово-административной функции: комплексы и дома Петроградского общества столичного ломбарда, Александровский пассаж, М.Ф. Сапожникова, Алкиных (Ш. М. Алкина), З.Н. Ушковой и т.д.

III тип. Доходные комплексы и дома с преобладанием зрелищно-досуговой функции: В.Е. и В.Б. Соломиных, здание офицерского собрания, комплекс дворянского собрания (Здание дворянского собрания и Дом дворянства), Купеческое собрание, комплекс К. Апанаева, где размещался «Восточный» клуб и т.д.

IV тип. Доходные комплексы и дома с преобладанием образовательной функции: Д.И. Мозолевкого; И.П. Умова; Е.А. Вагнер – Н.Ф. Грибовского, Я.И. Молоткова.

Сравнительный анализ объектов в каждой типологической группе комплексов позволил выявить их общие и характерные черты. В качестве примеров по каждой типологической группе рассмотрены 1-2 объекта.

I тип: Доходные комплексы и дома с преобладанием жилой функции

Доходные комплексы и дома с преобладанием жилой функции можно разделить на два подтипа. Первые – это гостиницы и номера для проезжающих, предоставляющие определенный набор услуг, в зависимости от их класса. Вторые – это жилые дома, в которых сдавались квартиры на долгий срок, с хозяйственно-обслуживающими постройками во дворе и, сопутствующими основной, дополнительными функциями (торговой и офисной) в виде конторских и небольших торговых помещений на первом этаже. Жилая функция в таких объектах играла важную роль, как в получении дохода, так и в узнаваемости и популярности того или иного объекта среди приезжих и городских жителей.

Данный тип доходных домов и комплексов заключал в себе следующие функции:

– жилая: квартиры, комнаты;
– общественного питания: рестораны, кафе, столовые и т.д.;
– торговая: магазины, лавки, аптеки;
– бытового обслуживания: фотосалоны и парикмахерские;
– зрелищная: театры и кинематографы.

Гостиницы, номера, подворья

Один из таких объектов – доходный дом Общества попечения о больных и бедных детях, построенный в 1908-1909 гг. в центре города на Рыбнорядской площади (современная пл. Г.Тукая). В начале XX века для сдачи в аренду и получения дохода общество на пожертвования покупает двухэтажный каменный дом с большим дворовым участком со службами и флигелем на Рыбнорядской улице. Через несколько лет для увеличения доходности дома встал вопрос о его расширении и реконструкции. Проведя инженерные обследования конструкций и фундамента дома, и, найдя их в неудовлетворительном состоянии, было принято решение отказаться от его реконструкции, а также решение о начале строительства нового доходного дома [8].

Новое трехэтажное здание с подвальным этажом в стиле модерн украсило Рыбнорядскую площадь [9]. Дом протянулся главным фасадом на всю длину участка, выходящего на площадь, а его неправильная форма обусловила конфигурацию дома в плане. На дворовом участке, также находились деревянный дровяник, флигель и каменная кухня (рис. 1). Пять входов в здание были организованы со стороны улицы и два со стороны двора. Внизу левого ризалита был устроен проезд во двор.

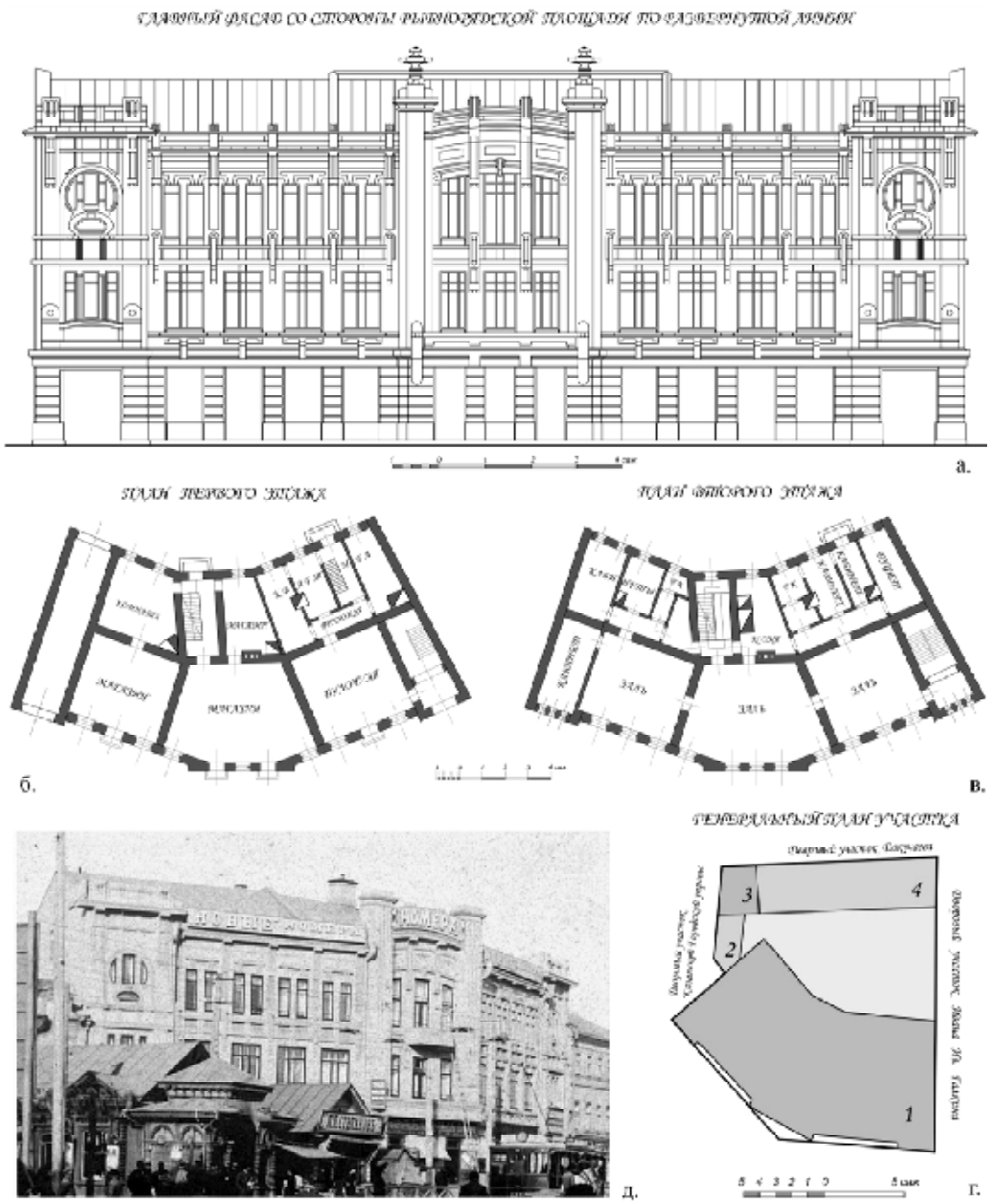


Рис. 1. Доходный дом общества попечения о бедных и больных детях:
а) Главный фасад; б), в) План-схема 1-го и 2-го этажа;
г) Генеральный план участка (иллюстрации авторов);
д) Доходный дом, вид с Рыбнорядской площади, фото 1909-1917 гг. [10]

В марте 1909 г. дом был открыт, а уже через месяц сдан в аренду казанскому купцу В.Г. Колесникову, который открыл там гостиницу под названием «Новые номера», просуществовавшую до 1917 года. Как значилось в рекламе того времени, номера были со всеми удобствами. Также в доме располагалась булочная и зубная школа, учрежденная доктором А.О. Рясенцевым, где осуществлялся прием и лечение больных.

Дома, с квартирами в наём на долгий или краткосрочный срок

Для содержателей домов, где квартиры или комнаты с мебелью сдавались в наём, существовали определённые правила [11]. Меблированные комнаты открывались с разрешения Казанского губернатора. При положительном заключении, содержателю выдавалось свидетельство на его фамилию, где указывалось количество отдаваемых в наём комнат. Также содержатели меблированных комнат обязаны были иметь соответствующую вывеску, а, кроме этого, на наружной стороне входной двери квартиры

вешать табличку с номерами комнат и фамилиями проживающих там. Правила и свидетельство должны были вывешиваться в рамке за стеклом на видном месте в помещении меблированных комнат.

Дом А.С. Меркулова-С.С. Губайдуллина – это типичный пример многофункционального доходного комплекса с краткосрочной или длительной по времени жилой функцией.

Домовладение располагалось в четвертой полицейской части на ул. Вознесенской (современная ул. Островского, 53) в 123 квартале и, в середине XIX века, принадлежало казанскому купцу А. Меркулову. В него входил хозяйский дом, выходивший главным фасадом на красную линию, и хозяйственные постройки во дворе, сама территория представляла собой прямоугольный участок, протянувшийся в глубину квартала [12]. В дальнейшем, домовладение перешло в собственность казанского купца С.С. Губайдуллина. Он реконструирует существующие постройки, надстраивая и объединяя несколько домов в один. После завершения всех работ доходный комплекс предстаёт в новом виде: «П»-образное в плане с главным трехэтажным объемом и с двумя двухэтажными кирпичными флигелями со двора, протянувшиеся вдоль левой и правой границ участка. Они соединялись с главным домом по первому этажу через переходы.

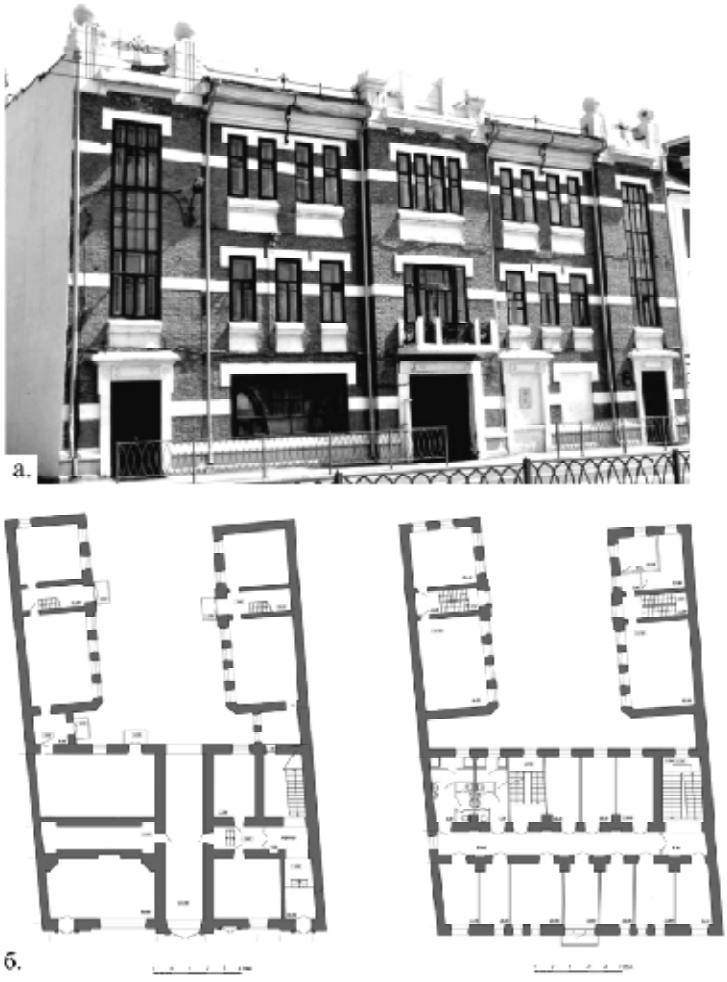


Рис. 2. а) Общий вид доходного комплекса с ул. Островского, фото 2019 г. (иллюстрации авторов); б) План-схема 1-го и 2-го этажа доходного дома А.С. Меркулова-С.С. Губайдуллина (Л.Р. Галимова. Методические указания «Изучение архитектурного сооружения в натуре и вычерчивание его в линейной графике». Казань : КГАСУ, 2018. 32 с.)

После реконструкции главный фасад дома, выполненный в стиле рационального модерна, приобретает новый образ (рис. 2). Архитектура дворовых объемов была проста. Двухэтажные кирпичные флигели с односкатной кровлей, обращённой во двор, с

минимумом декоративного оформления. Первый этаж главного дома занимали общественные и хозяйственные помещения. Второй и третий этажи, устроенные по коридорному типу, занимали комнаты для постояльцев (рис. 2). Также на каждом этаже располагались две уборные. Функциональное наполнение зданий типично для доходных комплексов. Помещения флигеля, вероятно, также использовались под квартиры, для менее обеспеченных постояльцев.

II тип: Доходные комплексы и дома с преобладанием торгово-административной функции

Доходные дома и комплексы с преобладанием торгово-административной функции в большинстве своём заключали в себе:

– торговую функцию, представленную разнообразными магазинами, лавками;

– функцию бытового обслуживания: фотосалоны и парикмахерские;

– медицинскую функцию: лечебницы, зубные кабинеты, аптеки;

– административно-офисную: конторы фирм, обществ, редакций газет и журналов;

– жилая функция была представлена минимально или отсутствовала.

К доходному дому с преобладанием торгово-административной функцией можно отнести дом З.Н. Ушковой, располагавшийся на центральной улице города Воскресенской (ныне ул. Кремлевская) в первой полицейской части в квартале № 47.

Во второй половине XIX века домовладение принадлежало казанскому купцу первой гильдии Я.Д. Соколову. Участок прямоугольной формы был вытянут на всю глубину квартала, и выходил садом на улицу Левая Черноозёрская. Вдоль правой границы участка стояли каменные кладовая, одноэтажный флигель и скорняжная, вдоль левой границы каменные баня, жилые и холодные службы. Главный дом располагался на углу улиц Воскресенская (Кремлевская) и Поперечно-Воскресенская (Лобачевского). Именно этот дом Я.Д. Соколова позднее вместе с другими постройками вошел в объём нового доходного дома (рис. 3).

Рис. 3. а) Дом А.К. Ушкова, фото 1904 г.; б) Дом А.К. Ушкова после реконструкции, фото 1910-1917 гг. Первый этаж: кафе «Бристоль» и книжный магазин [10]

В начале XX века домовладение покупает Ушков А.К. и именно при нём дом обретает новые черты и становится одним из самых красивых зданий Казани. Ушков заказывает у архитектора К.Л. Мюфке проект нового дома, с условием, чтобы первый этаж можно было использовать под общественную функцию с целью получения дополнительного дохода, а второй этаж – под жильё. В результате проведенной реконструкции путем объединения и надстройки построек середины XIX века, дом обретает в плане «П»-образную форму. Двухэтажное кирпичное оштукатуренное здание со стороны уличных фасадов было очень богато украшено. Внутренняя планировка дома соответствовала функциональному назначению. Торговые залы первого этажа были устроены по анфиладному типу с витринными окнами и с отдельными входами с улицы. Помещения первого этажа занимали магазины, кафе «Бристоль», книжный магазин Маркелова-Шаронова, типография (рис. 3). Правое крыло дома с двумя отдельными входами и лестничными блоками было отдано под квартиры для сдачи в наём.

Доступ во двор осуществлялся через проездную арку со стороны Воскресенской, здесь же располагался парадный вход в дом. Хозяйские жилые комнаты занимали второй этаж центральной части дома и левого крыла и выходили окнами на улицу. Планировка комнат также была сделана по анфиладному принципу. Их интерьеры были решены каждый в разном стиле, что было сделано согласно традициям в архитектуре в конце XIX-начале XX веков: ампир, рококо, шинуазри. Сочетание в себе роскошного особняка, торговых помещений и квартир в наём делает дом Ушковых редким и интересным примером доходного комплекса того времени.

Такое функциональное использование помещений отразилось на объемно-планировочном решении здания. Хозяйский 2-й этаж главного здания выделен на углу круглым эркером, увенчанным куполом. Это подчеркивает важность этой части комплекса. Большие витринные окна и двери бокового уличного фасада указывают на общественный характер помещений. Доходный корпус в правой части двора с улицы не просматривался, т.к. отделялся от соседнего участка высоким брандмауэром. В объеме выделены две основные функции: торговая и жилая.

Более ярким примером комплекса этой типологической группы МФДК является Александровский пассаж. Прежде на этом месте, ограниченном улицами Кремлевская, М. Джалиля и Черноозерская, находилось домовладение татарского купца. В конце 1870-х гг. М.М. Усманов продал домовладение купцу М.С. Александрову, который в январе 1880 г. обратился в Санкт-Петербургское общество архитекторов с просьбой объявить конкурс на лучший проект здания доходного дома с пассажем и обывательскими квартирами. Конкурс был объявлен в журнале «Зодчий» за 1881 год, который выиграли архитекторы В.В. Суслов и Н.И. Поздеев. Для возведения здания пассажа был приглашен из Петербурга архитектор Г.Б. Руш. Судя по плану здания на проекте, все здания усадьбы М.М. Усманова были снесены и в 1881 г. началось возведение трех-пятиэтажного здания с двухъярусными подвалами и стеклянной крышей, перекрывающей внутренний двор. Восточное крыло здания повторило конфигурацию участка, что позволило в южной части участка устроить открытый трапециевидный двор. Участок домовладения был практически полностью застроен новым комплексом. В 1883 г. здание пассажа было открыто (рис. 4). В нем на 1-2 этажах разместились магазины, конторы фирм и учреждений, ресторан, входы в них располагались не с улицы, а со двора со стеклянной крышей. В подвальных этажах находились склады, а на верхних этажах – съемные квартиры и гостиничные номера, позднее – синематограф, типография и т.д.

Рис. 4. Александровский пассаж: а) Внутренний вид; б)
Вид с ул. Воскресенской (Кремлевской), фото нач. XX в. [10]

Известно, что в Александровском пассаже располагались: ресторан Грошева, дамский магазин Донне, шляпный магазин Дестрэ, парфюмерный магазин Иванова, книжный магазин и канцелярские принадлежности братьев Башмаковых, книжный магазин С.А. Дубровина, магазин церковных вещей Назарова [7]. Также часовой и ювелирный магазин Климова, электротеатр «Пассаж», ресторан «Пале де Кристаль», кинематограф Розенберга на 300 мест, квартира правления и библиотека Общества приказчиков, частная публичная библиотека г-жи Михайловой, редакция газеты «Волжский листок», типография И.Н. Харитонова.

Александровский пассаж являлся на тот период универсальным доходным комплексом, на уличных фасадах которого ритм оконных проемов скрывал помещения различного назначения. Угловые цилиндрические башни, завершенные куполами, акцентировали уличные перекрестки. Даже размещение на рубеже веков в восточной части здания кинотеатра и типографии в западной части путем реконструкции внутренних помещений не отразилось на первоначальном облике здания. Это образец МФДК с индифферентным и более целостным решением объема комплекса по отношению к многофункциональному наполнению.

III тип. Доходные комплексы и дома с преобладанием зрелищно-досуговой функции

В доходных домах с преобладанием зрелищно-досуговой функции, как правило, размещались:

– зрелищные объекты, представленные театрами и кинематографами;

– развлекательные учреждения: бальные и музыкальные залы, различные клубы по интересам;

– пункты общественного питания: рестораны, кафе, столовые и т.д.;

– торговые объекты: магазины, лавки, аптеки;

– жилая функция была представлена минимально или отсутствовала.

Интересным примером доходного дома с преобладанием зрелищно-досуговой функции являлся дом Соломиных. Объект располагался в первой полицейской части города на одной из центральных улиц. Домовладение с одно- и двухэтажными постройками занимало угловую часть квартала на пересечении улиц Большой Проломной и Поперечно-Воскресенской (современные ул. Баумана/Астрономическая, д. 62/9). Принадлежало оно казанскому купцу-кондитеру, одному из крупнейших во второй половине XIX века производителей пряников Соломину Василию Ефимовичу. Здесь семейство Соломиных проживало, а также размещало свой магазин пряничных изделий. Домовладение к 1891 году было устроено по принципу периметрально-замкнутого пространства, а к 1896 году все здания, входящие в него, были каменные [13].

Так как домовладение располагалось на центральной оживленной улице, то помещения там пользовались спросом у арендаторов. Уже в 1895 году в доме Соломина располагались следующие торговые лавки: магазины Остермана по продаже велосипедов, телефонов, пылесосов и электрополотеров, швейных машин, венков металлических; магазины Федорова мебели и стекла бемского, легерного и простого [7].

В начале XX в. дом переходит по наследству во владение сына С.В. Соломина. В это же время происходит ещё одна реконструкция, которая объединяет четыре существующих дома в один, надстроенный вторым этажом, парадный вход организован с ул. Проломной, а уличные фасады украшаются полуколоннами, рустом, оконными наличниками, фризом с лепными модульонами, развитым карнизом и аттиками. Таким бывший доходный дом, построенный в стиле эклектики с элементами классицизма и барокко, мы можем наблюдать сегодня, за исключением оконных проемов первого этажа, которые в советское время были стёсаны и расширены под витринные окна (рис. 5 в-г).

В 1908 году Соломин С.В. открывает в доме кинематограф под названием «Урания». Это был один из восьми первых самостоятельных театров-кинематографов, открытых в собственном доме в том году в Казани [14]. В 1913 году Потомственный дворянин Вадим Валерианович Образцов арендует помещения второго этажа дома Соломина, где ранее располагался кинематограф, под свой «Театр Миниатюр», по примеру уже существующих в Петербурге, Киеве, Одессе и других городах. Репертуар

театра включал в себя комедии, оперы и оперетты, балет, водевили и кабаре, а также работал кинематограф [14]. В августе 1913 года он обращается в Строительное Отделение с просьбой о расширении зрительного зала со сценой за счет строительства нового пристроя над проездными воротами [15]. Архитектором данного проекта выступил Ф.Р. Амлонг, который на протяжении длительного времени снимал помещения в доме Соломина под свою строительно-техническую контору «Современное зодчество».

Рис. 5. Доходный комплекс С. В. Соломина: а) План-схема второго этажа на 1913 г.;
б) Общий вид главного дома с ул. Баумана, фото 2019 г. (иллюстрации авторов);
в) Вид на главный дом с ул. Астрономическая (фото с сайта https://2gis.ru/kazan/gallery/geo/)

После проведенной реконструкции расширился зал, и увеличилось количество зрительных мест. В новом пристрое располагалась сцена, над которой были устроены гримерные комнаты (рис. 5 а-б). Также в театре на одном этаже со зрительным залом располагалось просторное фойе, через которое можно было попасть в буфет со своей кухней, мужская и дамская уборные, комната сторожа и кладовая. Вход в театр осуществлялся с улицы Большой Проломной и, далее, по широкой двухмаршевой лестнице можно было попасть на второй этаж. Фасад по ул. Поперечно-Воскресенской был дополнен новым двухэтажным пристроем, который расположился над проездными воротами на территорию домовладения, и был выполнен в одном стиле с главным домом. Театр миниатюр В.В. Образцова под названием «Ша нуар» («Чёрная кошка») в доме Соломина пользовался большой популярностью у горожан и просуществовал до 1914 г.

Наличие в комплексе зрительного зала со сценой и других различных по функциональному назначению помещений практически не отразилось на облике здания. В этом проявляется принцип несоответствия многофункционального назначения объекта его объемному и стилистическому решению.

IV тип. Доходные комплексы и дома с преобладанием образовательной функции

Как правило, в доходных домах и комплексах такого типа основной и порой единственной была следующая функция:

– просветительская: гимназии, художественные или музыкальные школы, библиотеки и читальные комнаты.

Также могли присутствовать:

– торговая функция, представленная разнообразными магазинами;

– жилая функция была представлена минимально или отсутствовала.

Очень часто это были квартиры для учителей, директоров училищ и гимназий.

К такому типу доходных домов можно отнести здание в третьей полицейской части на углу улиц Большой Лядской и ул. Гоголя (современные улицы Горького и ул. Гоголя). Первыми владельцами домовладения были Д.И. Мозалевский и И.П. Умов. Большую часть жизни дом использовался и продолжает использоваться под образовательное заведение. Построено здание было в середине XIX века, в 1860-е годы – перестраивалось по проекту архитектора П.Т. Жуковского, позднее – в 70-80-е гг. – было надстроено третьим этажом по проекту П.В. Тихомирова. К концу XIX века объект представлял из себя трехэтажное кирпичное неоштукатуренное здание, «Г»-образное в плане.

В период, когда новым домовладельцем становится Е.А. Вагнер, в здании открывают учебное заведение. С 1872 по 1895 г. здесь располагалась частная женская прогимназия Софьи Федоровны Вагнер. В 1895 году в доме Вагнер часть помещений дома сдаётся в аренду Казанской художественной школе, которая находилась в ведомстве Императорской академии искусств. Данное учебное заведение размещалось здесь уже и при новом хозяине дома Н.Ф. Грибовском, вплоть до 1903 г., когда было построено новое отдельное здание школы на ул. Грузинской. В доме Вагнер также снимали квартиры, например, здесь в конце XIX века проживал Председатель Окружного суда, действительный статский советник В.Р. Завадский. Помимо съемных квартир, в доме располагался хлебный магазин – булочная Игнатьева [7].

В 1905-1917 гг. в доме размещалась частная женская гимназия Александры Ивановны Котовой, преобразованная вскоре в Третью женскую гимназию, которая существует и сегодня.

Помещения учебного назначения размещались, как правило, в основном здании. Квартиры, хозяйственные и торговые помещения располагались во флигелях и хозпостройках. Главные входы в здание могли располагаться с улицы или со двора. Для учебных зданий была характерна коридорная система планировки. В этом случае вдоль одной или двух сторон коридора, соединенного по концам с лестницами, располагались классы. Подобная планировочная структура отражалась в облике зданий большими окнами, симметричным решением главного фасада и т.д.

Заключение

Основные результаты исследования состоят в том, что на основе комплексного анализа отобранных по специальным критериям объектов, выявлена типология многофункциональных доходных зданий и комплексов центральной части Казани в зависимости от приспособления и функционального назначения их внутренних помещений:

– I тип: Доходные комплексы и здания с преобладанием жилой функции;

– II тип: Доходные комплексы и здания с преобладанием торгово-административной функции;

– III тип: Доходные комплексы и здания с преобладанием зрелищно-досуговой функции;

– IV тип: Доходные комплексы и здания с преобладанием образовательной функции.

Установлено, что, во всех выявленных типах МФДК, в той или иной степени присутствовали жилая, торговая, административно-офисная, общественного питания и другие виды функций в помещениях, приспособленных под них. Определенное сочетание данных функций с преобладанием одной из них по-разному отражалось на объёмно-планировочных решениях объектов. Преобладающая функция могла проявляться или не проявляться в облике объекта.

Показано, что доходные комплексы и здания Казани были многофункциональными, поскольку это повышало их коммерческую привлекательность. Многофункциональность достигалась двумя способами: 1. реконструкцией в конце XIX-начале XX вв. путем надстройки и объединения разрозненных объектов в единый комплекс; 2. строительством нового комплекса по единому замыслу. И в том и другом случае в объемно-планировочном решении комплекса допускалась гибкость и возможность смены функций помещений без ущерба для зданий.

Список библиографических ссылок

1. Надырова Х. Г. Хартии ИКОМОС и охранно-реставрационная деятельность в Республике Татарстан : сб. ст. V Международной научно-практической конференции – Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация / КГАСУ. Казань, 2017. С. 201–208.
2. Кириченко Е. И. Градостроительство России середины XIX-начала XX века. Книга 3. Столицы и провинция. М. : Прогресс-Традиция, 2010. 616 с.
3. Кириков Б. М. Архитектура петербургского модерна: особняки и доходные дома. 6-е издание. СПб. : Коло, 2017. 576 с.
4. Haussmann's Paris-Architecture in the Era of Napoleon III By Emily Kirkman, 2007. URL: http://www.arthistoryarchive.com/arthistory/architecture/Haussmanns-Architectural-Paris.html (дата обращения: 18.09.2019).
5. American Architecture. Architectural History from the Civil War to World War I. URL: // http://american-architecture.tumblr.com (дата обращения: 18.09.2019).
6. Tenements. https://www.history.com/topics/immigration/tenements (дата обращения: 28.10.2019).
7. Загоскин Н. П. Спутник по Казани: иллюстрированный указатель достопримечательностей и справочная книжка города. Казань, 2005. 848 с.
8. Алиев И. Дом на Рыбнорядской. Электронная газета «Республика Татарстан»: № 16 (25872) от 30.01.2007. URL: http://rt-online.ru/p-rubr-obsh-38092/ (дата обращения: 23.09.2019).
9. Дело о разрешении построек и исправлений за 1908 г. // НА РТ. Ф. 98. Оп. 4. Д. 2680.
10. Казань – ностальжи // https://ru-ru.facebook.com/groups/Kazan.nostalgique (дата обращения: 17.09.2019).
11. Документы по прошению отдельных лиц о разрешении открытия меблированных комнат в городе Казани, 1914 г. // НА РТ. Ф. 2. Оп. 7. Д. 3283.
12. Единый портал органов государственной власти и местного самоуправления «Официальный Татарстан». Реконструкция доходного дома А.С. Меркулова. URL: http://gosekspertiza.tatarstan.ru (дата обращения: 23.09.2019).
13. Прошения граждан о разрешения построек в 1 части г. Казани, 1896 г. // НА РТ. Ф. 98. Оп. 3. Д. 2180.
14. Алексеева Е. Первые казанские кинотеатры и их топонимика. Казанские истории // history-kazan.ru: онлайн-газета: URL: http://history-kazan.ru/2016-god-kino (дата обращения: 23.09.2019).
15. Документы о разрешении на приспособление второго этажа дома Соломина на Б. Проломной улице под театр Миниатюр, 1913 г. // НА РТ. Ф. 2. Оп. 7. Д. 2174.

Nadyrova Dilyara Aidarovna
senior lecturer
E-mail: dilyaran@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Aksenova Irina Aleksandrovna
architect-restorer of the highest category
E-mail: aksenova_ia@mail.ru
Aksenova I.A. art restoration and architectural workshop
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Butlerov st., 54a

Typology of multifunctional profitable complexes and buildings of the central part of Kazan in the late XIX-early XX century

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the typology of multifunctional profitable complexes and buildings by the predominance of certain internal functions in them in

the second half of the XIX-early XX century and to determine its impact on the space-planning solution of objects.

Results. The main results of the study are that the typology of multifunctional profitable buildings of Kazan depending on the adaptation and functional purpose of the internal areas of the objects, as well as features of space-planning solutions.

Conclusions. The significance of the results for architecture is that this research allowed for the first time to make a typology of functional filling of multifunctional profitable buildings of the late XIX-early XX century in Kazan.

Keywords: multifunctional profitable complex, tenement house, architectural style, cultural heritage, adaptation, function, typology.

References

1. Nadyrova H. G. Charters of ICOMOS and conservation and restoration activities in the Republic of Tatarstan : collection of articles of the V International scientific and practical conference – Cultural heritage in the XXI century: preservation, use, popularization / KGASU. Kazan, 2017. P. 201–208.
2. Kirichenko E. I. Urban planning of Russia in the middle of the XIX-early XX century. Book 3. The capital and province. M. : Progress-Tradition, 2010. 616 p.
3. Kirikov B. M. Architecture of St. Petersburg modern: mansions and tenement houses. 6th edition. SPb. : Kolo, 2017. 576 p.
4. Haussmann's Paris-Architecture in the Era of Napoleon III By Emily Kirkman, 2007. URL: http://www.arthistoryarchive.com/arthistory/architecture/Haussmanns-Architectural-Paris.html (reference date: 18.09.2019).
5. American Architecture. Architectural History from the Civil War to World War I. URL: // http://american-architecture.tumblr.com (reference date: 18.09.2019).
6. Tenements. https://www.history.com/topics/immigration/tenements (reference date: 28.10.2019).
7. Zagoskin N. P. Companion to Kazan: an illustrated index of attractions and reference book of the city. Kazan, 2005. 848 p.
8. Aliev I. House on Ribnoryadskaya. Electronic newspaper «Republic of Tatarstan»: № 16 (25872) dated 30.01.2007. URL: http://rt-online.ru/p-rubr-obsh-38092/ (reference date: 23.09.2019).
9. The case of the permission of buildings and corrections for 1908 year // NA RT. F. 98. Op. 4. D. 2680.
10. Kazan – nostalgique // https://ru-ru.facebook.com/groups/Kazan.nostalgique (reference date: 17.09.2019).
11. Documents at the request of individuals for permission to open furnished rooms in the city of Kazan, 1914 year // NA RT. F. 2. Op. 7. D. 3283.
12. Unified portal of public authorities and local self-government «Official Tatarstan». Reconstruction of the apartment house of A. S. Merkulov. URL: http://gosekspertiza.tatarstan.ru (reference date: 23.09.2019).
13. Petitions of citizens about permission of constructions in the first part of Kazan, 1896 // NA RT. F. 98. Op. 3. D. 2180.
14. Alekseeva E. The first Kazan cinemas and their toponymy. Kazan stories // history-kazan.ru: online newspaper: URL: http://history-kazan.ru/2016-god-kino/16664-pervye-kinoteatry-kazani-i-ikh-toponimika (reference date: 23.09.2019).
15. Documents on permission to adapt the second floor of the Solomin house on B. Prolomnaya street for the theater of Miniatures, 1913 // NA RT. F. 2. Op. 7. D. 2174.

УДК 72.03
Надырова Ханифа Габидулловна
доктор архитектуры, доцент
E-mail: nadyrova-kh@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Вавилонская Татьяна Владимировна
доктор архитектуры, профессор
E-mail: baranova1968@mail.ru
Самарский государственный технический университет
Адрес организации: 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244

Национальная идентичность архитектурно-исторической среды татарских селений Казанского уезда конца XIX-начала XX вв.

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить пространственно-планировочные, архитектурные и декоративно-стилистические идентификаторы застройки татарских селений Казанской губернии указанного периода. Методом исследования служит системный анализ застройки татарских селений. Источниками исследования послужили библиографические, архивные и натурные материалы.

Результаты. Основными результатами исследования являются выявленные особенности пространственно-планировочных структур селений, объемно-планировочных и декоративно-стилистических решений жилищно-хозяйственных и культовых комплексов, как идентификаторы, характеризующие национальную идентичность татарских селений Казанской уезда конца XIX-начала XX вв.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры заключается в выявлении национальной идентичности архитектурно-исторической среды татарских поселений конца XIX-начала XX вв., как основы для развития их новой идентичности и устойчивого развития в настоящем и будущем.

Ключевые слова: идентичность, национальные идентификаторы, сельская архитектура, народные традиции, пространственно-планировочная структура.

Введение

Проблема выявления идентичности национально-этнических поселений России начала XX в. является важной научной задачей. Актуальность тематики обусловлена тем, что это был рубежный этап развития исторических поселений, за которым последовал советский период. За столетие советского и постсоветского существования национальных поселений, в их архитектурно-исторической среде было многое утрачено и видоизменено. Это грозит потерей устойчивого развития исторических поселений, обуславливаемого сохранением прежних и выработкой новых идентификаторов архитектурно-исторической среды этих поселений. Устойчивое развитие региона, города или поселения подразумевает взаимодействие и адаптацию «старого» и «нового» в процессе развития архитектурно-исторической среды, т.е. одновременно сохранение и обновление, воспроизводство прежней и создание новой идентичности, достигаемое за счет сближения понятий и ценностных представлений местного населения и профессионалов [1]. Таким образом, для устойчивого развития современных татарских селений необходимо выявить прежние «старые» идентификаторы, чтобы, возводимые при реконструкции поселений, новые здания и сооружения превратились в такие «новые» идентификаторы, которые бы не противоречили и не разрушали архитектурно-историческую среду поселений.

Сочетание «новых» и «старых» идентификаторов придаст развитию исторических поселений устойчивый и динамичный характер. Это характерно для устойчивого развития, как небольших поселений, так и для крупных городов [2].

Изучению проблемы сочетания «старого» и «нового» в развитии исторических городов и поселений посвящены многие зарубежные исследования. В Италии идет поиск путей сочетания «старого» и «нового», традиционного и современного при реконструкции городов и поселений. Считается, что сохранение традиции в архитектуре заключается не только в проведении реставрации исторической застройки городов, но и во внедрении в нее необходимых инноваций и перемен [3]. За рубежом, при сравнительном изучении влияния современных архитектурных сооружений на застройку исторических городов, исследуются специальные факторы и условия, формирующие новую архитектурную идентичность [4]. Есть исследования, посвященные выявлению прежних идентификаторов застройки арабских и турецких городов [5, 6]. Изучение взаимосвязи между национальной идентичностью и монументальными зданиями также является необходимым и важным в определении идентичности исторических поселений, поскольку такие здания обладают специфичными архитектурно-планировочными чертами и придают поселениям национальный колорит. Идентичность архитектурного произведения обычно оценивается по замыслу, соответствию культурным и социальным характеристикам эпохи. Такие факторы, как время и связанность с особыми событиями, также являются очень важными в придании национальной идентичности монументальному сооружению. Быть историческим, то есть длительно существовать во времени, является более сильным фактором в достижении национальной идентичности монументального сооружения, чем его религиозный статус. Создание традиционной архитектуры было основано на потребностях былых эпох и воспроизведение их в современную эпоху не соответствует потребностями современных людей. Следовательно, современные сооружения (новые идентификаторы) должны соответствовать своему времени [7].

Понятие «идентичность» явления увязывается с понятиями «узнавание» и «отождествление» [8, с. 13]. В первом случае идентичность означает отличие одного – от другого, а во втором – сопоставление и связь с какими-либо явлениями и факторами. Оно появилось во второй половине XX века в гуманитарных науках и, в настоящее время, получило распространение в архитектурно-градостроительных исследованиях.

Исследователи рассматривают городскую идентичность в различных аспектах:

Одни – как своеобразие архитектурной среды, т.е. узнаваемость, неповторимость, индивидуальность городского образа [9, с. 132]. Другие определяют архитектурную идентичность города как «естественным образом сформированную целостную, узнаваемую совокупность материальных и нематериальных особенностей городской среды» и приводят ряд основных идентификаторов (кодов) идентичности, т.е. базовых характеристик архитектурной идентичности любого города или его части [10, 11].

Третьи считают, что идентичность выражает то «стабильное», которое обеспечивает воплощение принципа устойчивости и представляет сходство и различие архитектурно-исторической среды конкретных территорий по сравнению с другими. Она также характеризуется, неизменяемыми на протяжении ряда исторических периодов, элементами среды, которые могут сохраняться и транслироваться в будущее [12]. Двойственность в определении и в восприятии идентичности заключается в том, что сама архитектура обладает свойствами наделять идентичностью города и сельские поселения, отдельные территории и огромные пространства. Очевидно, что представление о регионе, городе, сельском поселении формируется их обликом, обликом застройки в сочетании с природой, ландшафтом местности [13, с. 14].

Идентичность архитектурно-исторической среды в исследовании определяется идентификаторами (идентификационными кодами)**:** природно-ландшафтным, градостроительным, архитектурно-историческим, этнографическим (национальным), функциональным, фортификационным, литературно-художественным, событийным, ментальным. Идентификационные коды городских пространств – это характерные признаки, свойства и определенные параметры, по которым мы узнаем те или иные места города и поселения и отличаем их от других мест или аналогичных мест других городов и поселений. Такими кодами или индикаторами идентичности могут быть как отдельные объекты архитектурной среды или даже архитектурные детали, так и комбинации

объектов или целые ансамбли или кластеры [9, с. 133], а также «дух места», как нематериальная составляющая идентичности среды поселения.

Следовательно, необходимо выявить особенности пространственно-планировочных структур селений, типологию объектов и объемно-планировочных и декоративно-стилистических решений жилищно-хозяйственных и культовых комплексов как национальные идентификаторы татарских селений Казанского уезда конца XIX-начала XX вв.

Выбор объектов и метода исследования

Казанский уезд Казанской губернии в начале XX века был основной территорией расселения татар и охватывал северо-западные и центральные районы современного Татарстана. Для комплексного анализа с целью выявления национальной идентичности были обследованы в натуре нескольких десятков сельских поселений бывшего Казанского уезда. Анализ библиографических источников позволил отобрать несколько поселений, обладавших в первые два десятилетия XX вв. яркой самобытностью пространственно-планировочной организации и архитектурного облика, и, в целом, отражавших типичные черты татарских селений того времени. Отбор селений проводился по следующим критериям:

– типичность административно-хозяйственного статуса;

– типичность архитектурно-планировочной структуры селения;

– наличие построек дореволюционного периода;

– наличие информации о данном селении в библиографических источниках и архивах.

В качестве метода исследования применялся комплексный анализ выбранных исторических татарских селений. Комплексный анализ проводился по трем аспектам:

– развитие пространственно-планировочной структуры селения;

– взаимосвязь типов построек и пространственно-планировочной структуры селения;

– объемно-пространственная композиция селения и ее восприятие человеком.

Для анализа каждого селения выборки были необходимы следующие материалы: результаты натурного обследования, включающие современные панорамы селения с основных подходов и характерных точек; фотографии и обмеры памятников архитектуры и наиболее типичных построек народного творчества; современная планировочная структура селения с нанесенными местоположениями утраченных вертикальных и объемных доминант, восстановленных по воспоминаниям старожилов селения, а также современных построек различного назначения, дополняющих или искажающих картину селения начала XX века; фотоматериалы, отражающие восприятие застройки селения при движении по улицам.

Архивные материалы включают планировочные схемы селений конца XVIII века, съемки середины XIX века, планы перепланировки селений 70-х годов XIX века, современные планы селений с подосновой (для крупных селений), фотоматериалы этнографических экспедиций 20-х гг. и 70-80-х гг. XX века.

Деревянная застройка татарских селений с течением времени постоянно подвергалась изменениям в результате пожаров, перестроек, социально-экономических изменений в сельской общине. Наиболее стабильными на исторических планах селений оставались основные направления дорог в пределах селения и местоположение мечетей. Планы исследуемых селений переводились в один масштаб и после наложения друг на друга подвергались сравнительному анализу. Сравнительный анализ планов селения различных временных периодов позволяет выявить зависимость местоположения отдельных типов построек от планировочной структуры в процессе её развития, а также установить местоположение вертикальных и объемных доминант и зрительных связей между ними. Анализ композиционной структуры селения осуществлялся на панорамах и характерных разрезах селений. На планах селений выявлялись зоны композиционного влияния доминант и анализировались условия восприятия их в застройке при движении по улицам.

Натурное обследование этих селений с фотофиксацией панорам, характерных видов и объектов деревянного историко-архитектурного наследия, позволило выявить определенные зоны застройки и объекты, относящиеся к различным периодам существования этих селений (с конца XVIII в. по настоящее время). Опираясь на библиографические материалы и выявленные в Национальном архиве РТ планы этих

селений конца XVIII в., середины и конца XIX в., второй половины XX в., был проведен ретроспективный сравнительный анализ развития их пространственно-планировочных структур и застройки.

Ретроспективный сравнительный анализ структур татарских селений

К началу XX века татарские селения разделялись на два основных вида: полифункциональные и монофункциональные. Последнюю группу составляли небольшие земледельческие селения. Полифункциональную группу составляли средние и крупные селения, которые, помимо земледельческой, имели и другие функции: торговую, управленческую, промышленную и кустарно-ремесленную.

Ниже приведен комплексный анализ крупного селения Служилая Ура (ныне Нижняя Ура). Селение Служилая Ура было основано в эпоху Казанского ханства. В XVIII в. для татарских селений была характерна традиционная скученно-групповая организация застройки, при которой на берегу речки размещались группы скученных усадеб, застроенных свободно расставленными домами и хозпостройками больших патриархальных семей. Каждая группа скученных усадеб была связана коммуникацией с основной дорогой, параллельной речке, и связывающей соседние селения. В конце XVIII в. в селении было открыто 5 кумачевых и мануфактур, где работало с октября месяца по май 40-65 человек, и поташный завод. На плане селения конца XVIII в. четко читаются направления дорожных коммуникаций [14]. Застройка усадеб показана беспорядочно расположенными значками. На юге и западе селения располагались складские и фабричные корпуса. На месте пересечения трех дорог при слиянии речек показаны две мечети.

В середине XIX века поташное производство и бумагопрядильные мануфактуры расширялись. В селе увеличилось население. Появилась застройка индивидуальными усадьбами на севере селения вдоль дороги в соседнюю деревню. На плане 1856 г. сохраняется радиальное направление дорог, сходящихся в центре селения у мечетей при слиянии речек [15]. Планировочная структура XVIII в. практически сохраняется, только территория крупных участков родовых усадеб пересечена переулками и границами участков отдельных владельцев. На усадьбах значками отмечены жилые и хозяйственные постройки, выделены участки огородов, гуменники и сады. Большинство построек на участках домовладений расположены скученно в глубине участков. К границам участков тяготеют хозпостройки и жилые дома, которых на плане XVIII в. еще не было. И в центре, и на окраине селения выделяются крупные купеческие жилищно-хозяйственные комплексы с домами сложной конфигурации посредине участков. Эти дома выделяются из рядовой застройки своими размерами на плане селения. Огороды и сады примыкают к дворам только некоторых домовладений, располагаясь в планировочной структуре селения без видимой закономерности. На плане селения много каменных построек, рассредоточенных в жилой застройке. Вероятно, это производственные или складские строения. На юго-западе селения выделяется производственная зона со свободно размещенными постройками. Она значительно расширена по сравнению с XVIII веком.

В конце XIX века выполнена съемка, отражавшая реальное состояние планировочной структуры селения. На её основе был разработан проект перепланировки селения Служилая Ура [16]. На съемке детально показаны парцелляции и планы домовладений, жилые и хозпостройки, сады и овины. Планировочная структура селения в конце XIX в. по сравнению с серединой XIX в. осталась прежней, однако в организации домовладений прослеживаются коренные изменения. Если большие купеческие дома остались на прежних местах в глубине усадеб, то хозпостройки, прежде произвольно стоявшие вокруг дома, объединяются и размещаются по периметру усадьбы, часто отделяя ее от улицы. На окраинах появляются крупные домовладения, в которых дома по традиции ставятся посреди участка. Планировка этих комплексов аналогична планировке усадеб в татарских слободах Казани первой половины XIX века.

На схеме селения конца XX в. (рис. 1.3) эллипсами выделены крупные усадебные комплексы промышленников, землевладельцев и купцов. Прямоугольником выделен культовый центр селения с двумя мечетями. Жилые дома владельцев-середняков и бедноты переносятся из глубины на периферию участков и кварталов и ориентируются фасадами на дороги, образуя улицы в привычном для нас понимании.

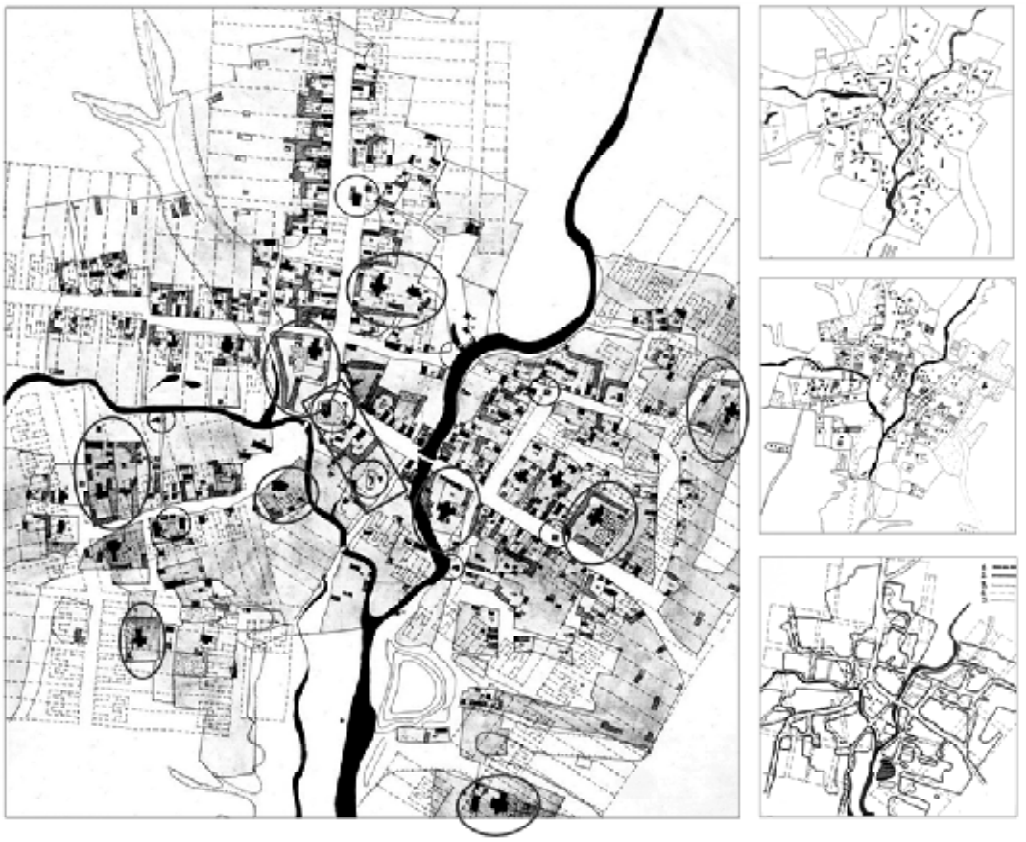


Рис. 1. Этапы развития планировочной структуры с. Служилая Ура:
1. Схема плана 1794 г.; 2. Схема съёмки плана 1856 г.; 3. Схема плана перепланировки 1886 г.;
4. Схема сравнения коммуникаций селения конца XVIII-начала XX вв. (иллюстрации авторов)

Мечети сохраняются на прежних местах, однако территории вокруг них застраиваются индивидуальными усадьбами. В начале XX в. здесь функционировали: водяная мельница, кузница, четыре постоялых двора, четыре лавки и харчевня, отмеченная уже на плане 1794 года. Крупные двух-, трехэтажные дома промышленников, землевладельцев, богатых купцов располагались в центре домовладений за стенами хозпостроек, заборами и воротами. Дом делит домовладение на две части, в каждую из которых ведут ворота. Хозпостройки тянутся по периметру домовладения. Помимо этого на участке располагались 2-3 флигеля, в которых жили работники или неотделенные сыновья. Середняцкие усадьбы были раза в два меньше по размерам вышерассмотренных домовладений. Дома в них стояли в глубине участка за оградой с декоративной решеткой перед окнами. Хозпостройки отделяются от жилого дома и располагаются отдельно друг от друга или слитно на стороне, противоположной дому. На новых улицах дома поставлены на красную линию, а хозпостройки, огораживая участок по периметру, образуют «П»-образную застройку усадьбы. План перепланировки Служилой Уры не был реализован, однако застройка селения в начале XX в. приобрела улично-квартальный, относительно регулярный вид. План перепланировки Служилой Уры не был реализован, однако застройка селения в начале XX в. приобрела улично-квартальный, относительно регулярный вид.

Селение Служилая Ура обладало природно-ландшафтными особенностями. В силу расположения в ложбине при слиянии двух речек, силуэты селения не видны целиком ни с одной стороны. Отдельные панорамные виды застройки раскрываются с водоразделов при приближении к селению. Поскольку мечети по традиции располагаются в низменной части селения у воды, а перепад рельефа составляет в пределах селения около 30 м, то вертикальные доминанты на внутренних панорамах и силуэтах селения не просматриваются, т.е. не играют на них доминирующую роль. Дома крупных домовладений, располагаясь, по сравнению с мечетями, выше по рельефу, становятся доминантами первого порядка. Полихромно-раскрашенные и расположенные по всей

планировочной структуре селения, они становятся архитектурно-художественными акцентами на панорамных видах селения, открываемых с нижней части. Улицы селения формировались фронтом оград с резными полихромными решетками перед окнами домов, монументальными богато декорированными и полихромно раскрашенными воротами и фасадами домов.

По результатам комплексного анализа исторического развития пространственно-планировочных структур и застройки отобранных селений были выявлены типы культовых зданий, усадебных комплексов и жилых домов различной социальной принадлежности (рис. 2).

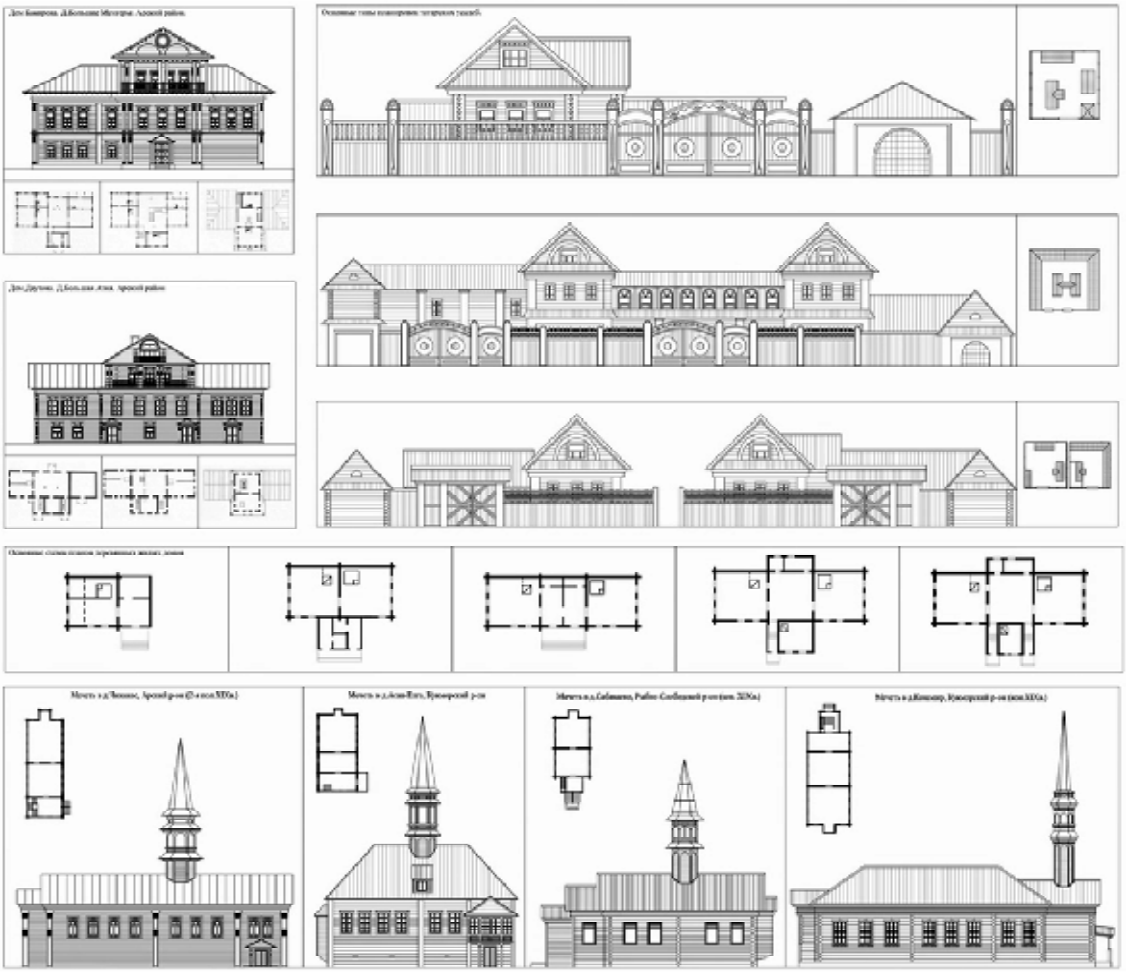


Рис. 2. Объемно-планировочные решения домовладений (усадебных комплексов), жилых домов и мечетей татарских селений Казанского уезда в начале XX века (иллюстрации авторов)

В конце XIX-начале XX вв. широкое распространение в татарских селениях получила своеобразная система архитектурно-декоративного оформления домов, мечетей и оград с воротами. Она включала элементы накладной и пропильной резьбы на наличниках окон, лопатках, карнизах, фронтонах, заборах и воротах, раскрашенные в чередующиеся цвета: белый, синий, охристый, зеленый, голубой, реже – красный.

Полихромные элементы выделялись на фоне монохромных стен строений, выкрашенных в один из перечисленных цветов, как фоновый. Иногда стены зданий также имели полосатую раскраску двумя перемежающимися цветами (рис. 3).

Рис. 3. Традиционная система архитектурно-декоративного оформления домов и мечетей татарских селений (Надырова Б.А. дипломный проект «Графическая реконструкция памятников татарского народного зодчества», 2005 г.)

О глубокой взаимосвязи татарского сельского зодчества и городской архитектуры Казани свидетельствуют исследования преемственности традиций деревянной жилищной архитектуры в формировании Старотатарской слободы, как места локального проживания татар на протяжении ряда столетий [17].

Идентификаторы национальной идентичности архитектурно-исторической среды татарских селений

Таким образом, проведенный комплексный анализ выборки татарских исторических селений позволил установить, что национальная идентичность архитектурно-исторической среды татарских селений Казанского уезда в рассматриваемый период определялись следующими идентификаторами:

Природно-ландшафтный. Ландшафт татарских селений отличается своеобразием, обусловленным прибрежным (овражно-речным) типом заселения. Татарские селения издревле располагаются в долинах по течению речек, по склонам или краям оврагов, по дну которых протекают ручейки. Характерно низинное расположение их по рельефу вдоль речек на одном или обоих берегах. В пределах селения устраиваются запруда и пруд. В качестве источников питьевой воды используются родники. На окраинах селений, за речкой или оврагом располагаются густо-озелененные старинные кладбища.

Градостроительный идентификатор проявлялся внешней геометрией кварталов (прямоугольных, треугольных, многоугольных и т.д.); плотностью застройки по периметру и внутри кварталов в центре селения и разреженностью застройки кварталов на его окраинах; сохранением исторической парцелляции, т.е. исторически сложившимся разделением на землевладения или домовладения к началу XX вв.; сохранением исторических панорам и видов поселения (татарские исторические селения отличались панорамами с ритмом вертикальных доминант – минаретов мечетей и объемных доминант – крупных двухэтажных с мезонинами домов и полихромией в их оформлении).

Этнический идентификатор в татарских селениях определяется особой типологией усадеб, жилых построек, мусульманской типологией культовых построек и системой национального архитектурно-художественного оформления застройки (характерный резной и накладной декор и полихромия с традиционным сочетанием цветов в оформлении жилых, культовых и хозяйственных зданий). Особой чертой татарских селений являлось размещение жилых домов в глубине усадеб за заборами, отделяющими их от улиц.

Архитектурно-исторический идентификатор определяется сохранением разных морфотипов застройки селений (в первую очередь, это наиболее древние участки застройки, как правило, размещающиеся в прибрежной зоне и сохраняющие следы дорегулярной планировочной структуры селения; регулярная квартальная застройка селения, относящаяся к последней трети XIX-началу XX вв., и размещающая выше по

рельефу от реки; застройка советского времени середины – второй половины XX в.; и современная застройка начала XXI в.). Особое значение имеют сохраняющиеся в пространственно-планировочной структуре селений памятники деревянного зодчества конца XVIII, XIX, начала XX в. (мечети, усадьбы и дома промышленников, землевладельцев и купцов, крестьянские усадьбы и дома, хозяйственные постройки, мельницы, пожарные каланчи, здания земских школ, больниц и т.д.), объекты деревянного советского классицизма (клубы, здания правлений колхозов, сельсоветов, детских садов, школ и т.д.), обладающие определенной временной глубиной и памятью, связывающей современное население поселений с предками.

Ментальный идентификатор в исторических поселениях проявляется в сословном характере сохранившихся усадеб и домов поселений (богатых промышленников и землевладельцев, купцов и крестьян).

В исторических татарских селениях Казанского уезда характер функционального наполнения объектов имел национальное своеобразие на фоне селений соседних народов региона. Мечети размещались на площади, на пересечениях улиц, в ряду застройки на берегу речек. Последний вариант являлся традиционным и самым древним приемом расположения мечетей в структуре селений. Торговые заведения в виде деревянных и кирпично-каменных лавок размещались в структуре купеческих усадеб с входом с улицы, а также на площади и на пересечении улиц в виде отдельно стоящих зданий. Земские школы, больницы размещались на огороженных участках в ряду жилой застройки.

Событийный идентификатор (одно из проявлений «духа места»), связанный с сохранением в памяти населения знаменательных исторических событий, легенд, преданий и ярких имен и т.д., проявляется в названиях отдельных зон селений, улиц, объектов, природно-ландшафтных мест. Его сохранению способствуют поддержание в порядке мест захоронений исторических личностей данного селения, организация и проведение традиционных сабантуев (праздник плуга по завершении посевной), джиенов (джиен – праздник сбора родственников) и других местных праздников и т.д. Рассматриваемые селения были основаны еще во времена Казанского ханства. На местных кладбищах сохранились надгробные стелы XVI-XVII вв. и так называемые могилы святых, почитаемые местным населением. Отдельные зоны поселений носят местные названия, связанные с именами родоначальников или названиями родов местного населения. В некоторых селениях сохранились шажэре, родословные отдельных семей, рода или селения в целом.

Выводы

1. Национальная идентичность архитектурно-исторической среды татарских селений Казанского уезда рассматриваемого периода проявлялась идентификаторами (идентификационными комами), которыми служили особенности пространственно-планировочных структур селений, объемно-планировочных и архитектурно-декоративных решений жилищно-хозяйственных комплексов и культовых сооружений. 2. Пространственно-планировочные структуры татарских селений отражали симбиоз традиционной скученно-групповой и внедренной российской администрацией регулярной застройки. 3. Национальную специфику застройки отражало своеобразное размещение в структуре татарских селений культовых и купеческих и промышленных жилищно-хозяйственных комплексов как вертикальных и объемных доминант. 4. Низинное расположение в ландшафте селения у проточной воды комплекса мечети является традиционным древним градостроительным приемом. Размещение комплекса мечети на площади или на углу пересечения главной улицы и переулка – влияние русской градостроительной культуры. 5. Крупные жилищно-хозяйственные комплексы татарских промышленников, землевладельцев, купцов в отличие от селений других народов региона располагались преимущественно на окраинах селений, где не было большой скученности застройки. 6. Застройка татарских селений выделялась применением своеобразной системы архитектурно-декоративного оформления жилых и культовых построек, которая включала использование пропильных и накладных резных элементов, выделенных полихромным колоритом. Полихромия татарских селений строилась на сочетании белого, зеленого, охристого, синего (голубого) и реже красного цветов.

Заключение

Значимость результатов исследования заключается в выявлении национальной идентичности архитектурно-исторической среды татарских селений конца XIX-начала XX вв. как основы для развития их новой идентичности и устойчивого развития в настоящем и будущем.

Список библиографических ссылок

1. Вавилонская Т. В. Симбиотические модели устойчивого развития архитектурно-исторической среды Самарского Поволжья // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 11. С.46–51.
2. Айдарова-Волкова Г. Н. «Старое» и «новое» в архитектуре древней Казани – два крыла устойчивого сохранения и развития исторического центра // Архитектура и строительство России. 2018. № 3 (227). С. 20–25.
3. Raffaele Gambassi. Identity of modern architecture in historical city environment // Architecture and Engineering. 2016. Vol. 1. № 2. P. 27–42.
4. Zohreh Torabi, Sara Brahman. Effective Factors in Shaping the Identity of Architecture // Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. № 15 (1). P. 106–113.
5. Elham Zadbagher-Seighalani, Mohammad Hasan Rafi, Ahmad Reza Akbari and etc. Protection of Identity of Historical Cities Aimed at Revitalization of Old Textures, Case Study: Historical City of Gaz-Borkhar, Isfahan, Iran // International Journal of Emerging Engineering Research and Technology. Vol. 6. Iss. 1. 2018. P. 1–6.
6. Serpil ÇERÇI. The role of historic environments in creating place identity on urban settlements // URL: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/207850 (reference date: 23.09.2019).
7. Negar Houshangi. Monumental Architecture; National Identity; Conceptual Understanding of Iranian Monumental Architecture. URL: http://i-rep.emu.edu.tr:8080/jspui/bitstream/11129/665/1/Houshangi.pdf. (reference date: 23.09.2019).
8. Сапожникова Р. Б. Анализ понятия «идентичность»: теоретические и методологические основания // Вестник ТГПУ. 2005. Вып. 1 (45). С. 13–17.
9. Кламер М. К., Глебова Н. М., Дружинина И. Е. Идентификационные коды архитектурной среды городских пространств // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 3. С. 132–144.
10. Вавилонская Т. В. Региональная ментальность и идентичность архитектурно-исторической среды Самарской области в сравнении с другими регионами Поволжья : сб. ст. под ред. М.И. Бальзанникова и др. – Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство / СГАСУ. Самара, 2015. С. 181–185.
11. Скалкин А. А. Архитектурная идентичность города: понятие и методология исследования // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. №2(43). С. 87–97.
12. Есаулов. Г. В. Устойчивая архитектура как проектная парадигма (к вопросу определения) // Устойчивая архитектура: настоящее и будущее: тр. Международного симпозиума. 17-18 ноября 2011 г. Научные труды Московского архитектурного института (государственной академии) и группы КНАУФ СНГ. М., 2012. С. 76–79.
13. Есаулов Г. В. Об идентичности в архитектуре и градостроительстве // Архитектура. 2018. № 4. С. 12–18.
14. Геометрический специальный план Казанской губернии Царевококшайского уезда д. Служилая Ура. Ф. 324, оп. 733, № 116. 1794 (1803) г.
15. Съемка дачи д. Служилая Ура Казанской губернии Царевококшайского уезда. Ф. 324, оп. 733, № 495. 1856 г.
16. План усадебного устройства д. Служилая Ура Казанской губернии Царевококшайского уезда. Ф. 324, оп. 739, № 364. 1886 г.

Nadyrova Khanifa Gabidullovna
doctor of architecture, associate professor
E-mail: nadyrova-kh@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Vavilonskaya Tatiana Vladimirovna
doctor of architecture, professor
E-mail: baranova1968@mail.ru
Samara State Technical University
The organization address: 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

National identity of architectural and historical environment of tatar villages of Kazan district of the late XIX-early XX centuries

Abstract

Problem statement. The aim of the study is to identify national spatial-planning, architectural and decorative-stylistic identifiers of development of Tatar villages of Kazan province of the specified period. The method of research is a systematic analysis of the development of Tatar villages. The sources of the research were bibliographic, archival and natural materials.

Results. The main results of the study are the revealed features of spatial-planning structures of villages, spatial-planning and decorative-stylistic solutions of housing and religious complexes as national identifiers of Tatar villages of Kazan district of the late XIX-early XX centuries.

Conclusions. The significance of the results of the study is to identify the national identity of the architectural and historical environment of the historical Tatar villages of the late XIX-early XX centuries as the basis for the development of their new identity and sustainable development in the present and future.

Keywords: identity, national identifiers, rural architecture, folk traditions, spatial planning structure.

References

1. Vavilonskaya T. V. Symbiotic models of sustainable development of the architectural and historical environment of the Samara Volga region // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2015. № 11. P. 46–51.
2. Aidarova-Volkova G. N. «Old» and «new» in the architecture of ancient Kazan-two wings of sustainable preservation and development of the historical center // Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii. 2018. № 3 (227). P. 20–25.
3. Raffaele Gambassi. Identity of modern architecture in historical city environment // Architecture and Engineering. 2016. Vol. 1. № 2. P. 27–42.
4. Zohreh Torabi, Sara Brahman. Effective Factors in Shaping the Identity of Architecture // Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. № 15 (1). P. 106–113.
5. Elham Zadbagher-Seighalani, Mohammad Hasan Rafi, Ahmad Reza Akbari and etc. Protection of Identity of Historical Cities Aimed at Revitalization of Old Textures, Case Study: the Historical City of Gaz-Borkhar, Isfahan, Iran // International Journal of Emerging Engineering Research and Technology. Vol. 6. Iss. 1. 2018. P. 1–6.
6. Serpil ÇERÇI. The role of historic environments in creating place identity on urban settlements // URL: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/207850 (reference date: 23.09.2019).
7. Negar Houshangi. Monumental Architecture; National Identity; Conceptual Understanding of Iranian Monumental Architecture. URL: http://i-rep.emu.edu.tr:8080/jspui/bitstream/11129/665/1/Houshangi.pdf.
8. Sapozhnikova R. B. Analysis of the notion of «identity»: theoretical and methodological foundations // Vestnik TGPU. 2005. Iss. 1 (45). P. 13–17.

9. Klamer M. K., Glebova N. M., Druzhinina I. E. Identification codes of the architectural environment of urban spaces // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. 2017. T. 7. № 3. P. 132–144.
10. Vavylonskaya T. V. Regional mentality and identity of the architectural and historical environment of the Samara region in comparison with other regions of the Volga region : collection of articles edited by M. I. Balzannikov et al. – Traditions and innovations in construction and architecture. Urban planning / SGASU. Samara, 2015. P. 181–185.
11. Skalkin A. A. Architectural identity of the city: the concept and methodology of research // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 2 (43). P. 87–97.
12. Yesaulov G. V. Sustainable architecture as a design paradigm (to the question of definition) // Sustainable architecture: present and future: Tr. International symposium. November 17-18, 2011. Scientific papers of the Moscow architectural Institute (state Academy) and KNAUF CIS group. M., 2012. P. 76–79.
13. Esaulov G. A. On identity in architecture and urban planning. 2018. № 4. P. 12–18.
14. Geometric special plan of the Kazan province Tsarevokokshaisk county Sluzhilaya Ura village. F. 324, op. 733, № 116. 1794 (1803).
15. A country house survey in Sluzhilaya Ura village of the Kazan province Tsarevokokshaisk county. F. 324, op. 733, № 495. 1856.
16. Plan of the manor device of Sluzhilaya Ura village Kazan province Tsarevokokshaisk county. F. 324, op. 739, № 364. 1886.

УДК 72.035.1
Попов Антон Олегович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: a.o.popov@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Бирюлева Диляра Камиловна
кандидат технических наук, директор
E-mail: dila899mail.ru
ООО «Девелоперская компания «ДКИМ»»
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 54а

Градостроительное развитие территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербурга в период с 1800 по 1900 гг.

Аннотация

Постановка задачи. Застройка территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства в период с 1800 по 1900 гг. совпадает со стадией композиционного совершенствования г. Санкт-Петербург, а во многом и предопределяет ее.

Результаты. Результатом исследования авторов является систематизация архивных данных и историко-культурных исследований, проведенных авторами, на основании которых составлена четкая хронология изменения ключевой для г. Санкт-Петербурга территории.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что исследования, представленные в настоящей работе, позволили выделить этап интенсивной застройки территории, а также этап композиционного совершенствования.

Ключевые слова: памятники истории и культуры, инженерная реставрация, реконструкция, усиление.

Введение

Территория комплекса зданий Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербурга в период с 1800 по 1900 гг. претерпевает значительные изменения, в первую очередь связанные с творчеством архитектора А.Д. Захарова, который разработал и реализовал проект реконструкции здания и прилегающей территории. Указанный период совпадает со стадией композиционного совершенствования г. Санкт-Петербурга, а во многом и предопределил эту стадию. Отдельные объекты и элементы архитектурно-художественного восприятия были привнесены в разные годы.

Необходимо понимать и различать, что в указанный период на территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства одновременно существовали:

- Адмиралтейская крепость;
- комплекс зданий Главного Адмиралтейства;
- Адмиралтейские верфи и связанные с ним хозяйственные постройки.

Застройка территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства 1800-1820 гг.

В начале 1805 г. на смену Ч. Камерону архитектором Морского ведомства был назначен А.Д. Захаров. Восприятие грандиозности реконструкции, задуманной А.Д. Захаровым, возможно при рассмотрении опорного плана (рис. 1), на котором показаны строения Адмиралтейских верфей, а также окружающая их деревоземляная крепость с бастионами и объединяющими их куртинами, пологим гласисом и рвом, имеющим подпитку с большой Невы. Показан единственный въезд на территорию верфей со стороны Зимнего Дворца. Нужно понимать, что территория комплекса зданий Главного Адмиралтейства к концу XVIII века уже располагалась в центральной части города. На плане Питермана (рис. 1) видны, практически вплотную подступающие к Адмиралтейской крепости, строения гражданского назначения, которые в значительной степени снижали обороноспособность фортификационных сооружений. Несмотря на явную нецелесообразность, отмечаемую

современниками, на Адмиралтейскую крепость выделялись значительные средства, а в начале XIX века с повеления императора Павла I проведена реконструкция крепости. При реконструкции увеличилась высота бастионов и крепостных валов, возведены строения на восточном и западном бастионах, углублен и расширен канал.

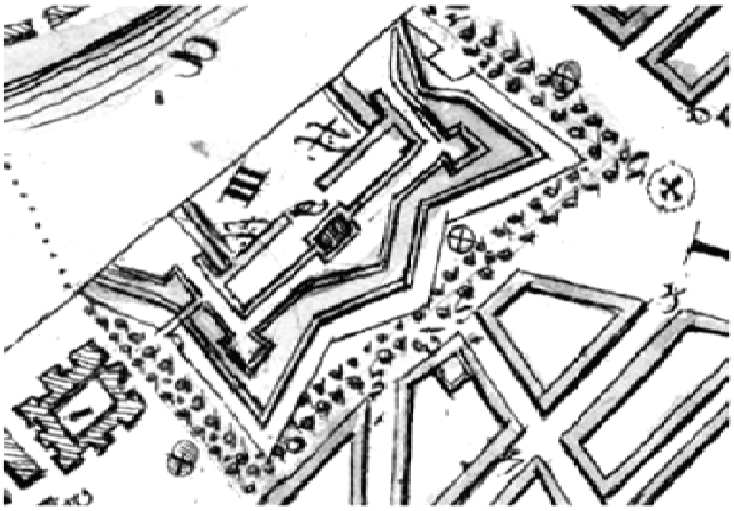


Рис. 1. Фрагмент карты Питермана 1805 г. [1]

Примечательным является градостроительный план г. Санкт-Петербурга 1810 г. [2], составленный Савинковым (рис. 2), где впервые схематично показаны внутридворовые постройки Адмиралтейской крепости, топографически полностью совпадающие с расположением ныне существующих зданий, за исключением восточного и западного павильонов, которые являются более поздними строениями. Затянувшееся возведение «невских» павильонов было связано с событиями Отечественной войны 1812 г., согласно исследованием В.К. Шуйского [3], были завершены летом 1815 г., а на топографических планах и иконографиях Восточный и Западный павильоны появляются еще в более поздний период. Слева от комплекса зданий Главного Адмиралтейства появляется наплавной плашкоутный мост (рис. 2), который ранее фланировал справа (рис. 1).

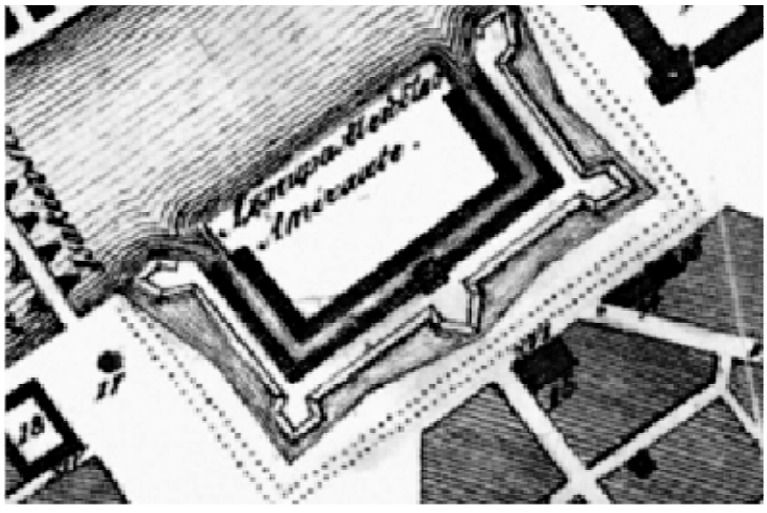


Рис. 2. Фрагмент карты Савинкова 1810 г. [2]

Перенос, наплавного плашкоутного, моста связан со значительным грузопотоком, проходящим перед стенами Зимнего дворца. Многочисленные повозки строительных материалов нарушали спокойствие монарших особ. Кроме того был перенесен единственный сухопутный въезд, который также располагался со стороны Зимнего дворца.

Рассматривая план 1812 г. (рис. 3) мы не находим Адмиралтейской крепости ее ров был засыпан грунтовым массивом срытым с бастионов и куртин, а на месте некогда существовавшей крепости разбит Александровский сад существующий и поныне.

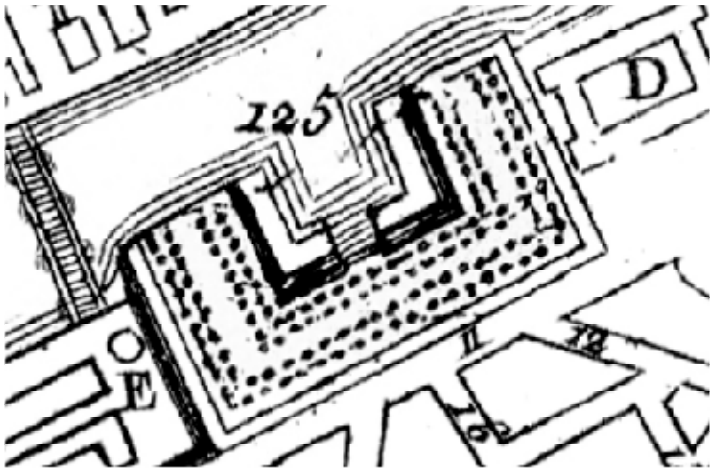


Рис. 3. Фрагмент плана Санкт-Петербурга 1812 г. [4]

Строительные работы по проекту А.Д. Захарова были завершены осенью 1819 г., уже после смерти архитектора. Завершал строительство видный русский архитектор И.Г. Гомзин. Уникальными для своего времени были конструктивные решения, среди которых было использование лучковых сводов, устроенных по железным и стальным двутавровым балкам. Эти перекрытия можно увидеть при рассмотрении широких проездных арок восточного и западного павильонов, а также при устройстве перекрытий внутридворовых корпусов. При обследовании авторами было установлено, что в качестве балок перекрытия использовались двутавры с высотой сечения 25 см, соответствующие старорусскому сортаменту, при этом с переменными по длине геометрическими характеристиками поперечного сечения. Изменчивость поперечного сечения в зависимости от места расположения связано с несовершенством прокатных технологий того периода.

Внутридворовые корпуса получили передовую для своего времени конструктивную схему, при этом несущий остов представлял собой продольные несущие стены. Их жесткость и пространственная устойчивость обеспечивались за счет совместной работы продольных несущих стен, горизонтального диска перекрытия (лучковые своды по стальным и железным балкам), а также лестничных клеток.

Необходимо отметить, что остальные здания архитектурного ансамбля Главного Адмиралтейства не имели похожих конструктивных решений. Последнее объясняется тем, что А.Д. Захаров инкорпорируя конструктивные решения архитектора Коробова, сохранил основную конструктивную схему здания, устроенную с продольными и поперечными несущими стенами и опирающимися на них в уровне первого этажа цилиндрическим, крестовыми и сомкнутыми сводами. Перекрытия второго и третьего этажей были устроены по традиционному для своего времени решению, в виде деревянных перекрытий с использованием черепных брусков, черного и белого наката, оштукатуренных с внешней стороны.

Приверженность к ранее принятым конструктивным и архитектурно-планировочным решениям связана с тем, что при использовании других решений невозможно было бы выйти на требуемые высотные отметки, а, следовательно, получить фасады в симметричном классическом виде.

Застройка территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства 1820-1900 гг.

Панорама г. Санкт-Петербурга А. Тозелли передает атмосферу 20-х годов XIX в., где, в центре европейской столицы, вблизи императорского дворца, располагались производственные корпуса и верфи (рис. 4). Этот участок набережной, как отмечали современники, имел весьма неприглядный вид: каналы для спуска судов, рвы и земляные

валы окружали сооружение, что, конечно, портило вид центра столицы. Кроме того, из-за доходившей до самой воды верфи нарушалось движение транспорта по берегу р. Невы. Все чаще и чаще возникали предложения о переносе Адмиралтейских верфей.

Рис. 4. Панорама Санкт-Петербурга 1820 г. (художник А. Тозелли)

Панорама А. Тозели примечательна и тем, что на ней показаны внутридворовые корпуса, разделенные широким проездом, совпадающим в плане с проездной аркой центральной Башни Главного Адмиралтейства. Любопытно, что внутридворовые корпуса устроены двухэтажными, однако современнику они предстают в три этажа. Информация о надстройке третьего этажа отсутствует в архивах комитета по охране памятников г. Санкт-Петербурга.

Любопытным является устройство канала между внешними и внутридворовыми корпусами. Изначально канал необходим был для поставки строительных материалов и изделий из сопряженных с адмиралтейством производств, поэтому восточный и западный павильоны использовались как водные ворота.

Впервые вопрос о переносе верфи поднимался еще при Екатерине II, когда пожар 1783 г., возникший на верфи, едва не перекинулся на Зимний дворец. В.Н. Сашонко [5] указывал, что после пожара на территории Адмиралтейства Екатерина II пожелала перенести верфь на территорию Кронштадта, однако из-за дороговизны пришлось отказаться от этого проекта, а средства направить на проведение восстановительных работ на верфях и противопожарных мероприятиях.

Из архивных данных [6] известно, что строительство кораблей в здании Главного Адмиралтейства закончилось в 1844 г., после чего верфь и другие вспомогательные сооружения судостроительной направленности были демонтированы. И снова возник вопрос об устройстве набережной и проезжей части вдоль р. Невы, который в 1865 г. перерос в инициативу Государственной думы и созданию комиссии при Министерстве внутренних дел [7].

Комиссия отмечала неприглядность внутридворовых фасадов и планировала их докомпоновку архитектурными элементами. В благоприятный вид внутридворовые фасады планировали привести из средств от продажи территории некогда занимаемой Адмиралтейскими верфями. Гранит, использованный при устройстве Адмиралтейской набережной, был взят из Екатерининского канала, работы по засыпке, которого к 1872 г. уже были завершены [8].

Реализация проекта Адмиралтейской набережной выполнялась силами «Русского Строительного Общества» и была завершена осенью 1874 г. Малые архитектурные формы, расположенные в пределах адмиралтейской набережной, были разработаны по предложениям К. Росси и Л. Шарлемана.

Открытие проезжей части Адмиралтейской набережной позволило начинать застройку внутридворовой территории. Автором проекта выступал Н.Л. Бенуа, идеей которого было создание ансамбля из шести зданий с одинаковыми фасадами, однако эта идея не нашла должного отклика и застройка территории была выполнена по разным

проектам, а ограничение на землепользование заключалось лишь в высотных отметках. Так на территории, некогда занимаемой верфями (рис. 5), появились здания [10]:

– общества взаимного поземельного кредита (арх. А.В. Друкер, К.К. Тарасов);

– дом Крестьянского поземельного банка (арх. А.Ф. Красовский, В.Р. Курзанов; 1880-1881);

– дворец великого князя Михаила Михайловича (арх. М.Е. Месмахер, вторая половина 1880-х гг.);

– доходный дом Страхового общества «Россия» (арх. А.Х. Кольб; нач. 1880-х гг.);

– театр Панаева (1888, арх. Д.К. Пруссак). Театр сгорел в 1917 году. Участок долго пустовал, пока здесь с глубоким отступом от проезжей части в 1950-е годы не была построена школа (№ 225).

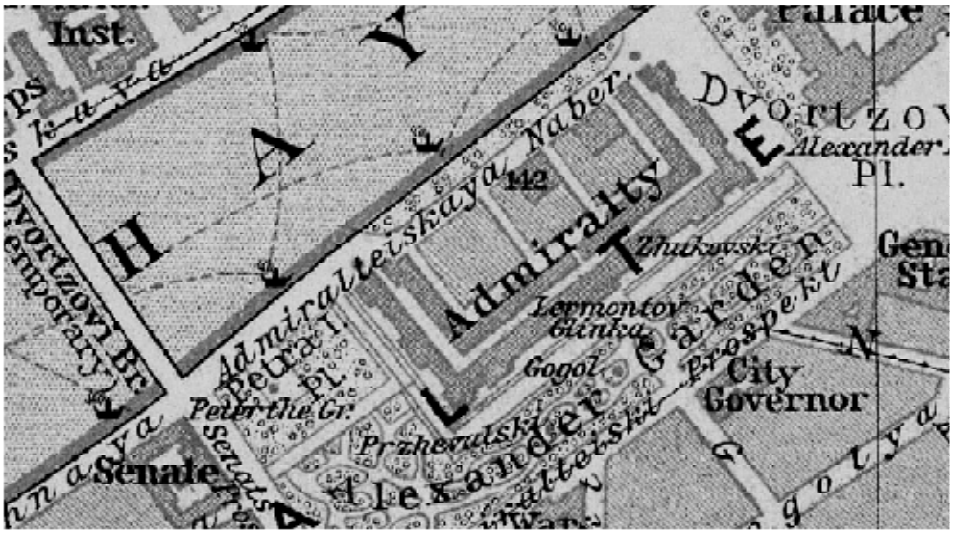


Рис. 5. Фрагмент плана г. Санкт-Петербург [9]

План г. Санкт-Петербург 1899 г. в деталях позволяет представить застройку территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства. Примечательным является то, что дворцовый мост располагался слева от комплекса здания и просуществовал вплоть до 20-х годов XX века, когда на плане г. Санкт-Петербурга появятся, и будут существовать, два дворцовых моста:

- старый – плашкоутный мост (слева);
- новый – разводной мост (справа).

Каналы, проходящие между внешними и внутридворовыми корпусами комплекса зданий Главного Адмиралтейства, засыпаны, что в целом соответствует административному назначению комплекса зданий, где целесообразнее иметь широкий двор.

Обозначенные на плане города пристани (рис. 5), обустроенные к концу XIX века, существуют и в настоящее время. Необходимо отметить, что концепция устройства протяженных набережных, вблизи полноводных рек, впоследствии распространилась на территорию всей России [13].

Заключение

В настоящей работе показана градостроительная роль территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербурга, выделены этапы интенсивной застройки территории и связанная с ним смена условий землепользования. Приведены материалы, связанные с существованием, эксплуатацией и реконструкцией территории Адмиралтейской крепости, зданий Главного Адмиралтейства и Адмиралтейских верфей.

Список библиографических ссылок

1. Map of St. Petersburg 1805. Plan Peterman // 1805. URL: http://http://www.etomesto.ru/map-peterburg_ 1805 (дата обращения: 28.10.2019).
2. Карта Санкт-Петербурга 1810 г. План Савинкова // 1810 г. URL: http://http://www.etomesto.ru/map-peterburg (дата обращения: 28.10.2019).
3. Шуйский В. К. Андреян Захаров. Л : Лениздат, 1989. 190 с.
4. Карта Санкт-Петербурга 1812 г. // 1812г. URL: http://http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1812 (дата обращения: 28.10.2019).
5. Сашонко В. Н. Адмиралтейство. Л. : Лениздат, 1982. 126 с.
6. Штиглиц М .С., Лелина В. И., Гордеева М. А., Кириков Б. М. Памятники промышленной архитектуры Санкт-Петербурга. СПб. : Изд-во Белое и Черное, 2003. 223 с.
7. Лангваген Я. Адмиралтейская набережная // Зодчий. 1872. № 2. С. 18-19.
8. Арнольд М. Проспект Императора Александра II // Зодчий. 1872. №4. С. 63-65.
9. Guide to St. Petersburg // 1899. URL: http://http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1899 (дата обращения: 28.10.2019).
10. Соловьёва Т. А. Адмиралтейская набережная. СПб. : Крига, 2007. 176 с.
11. Lavrov L. P., Sementsov S. V. Globalization in architecture: three examples from Saint Petersburg // World applied sciences journal. 2013. № 13. P. 25–30.
12. Надырова Х. Г. Современный подход к преподаванию историко-архитектурных дисциплин // Дизайн-ревю. 2014. № 1. С. 68–73.
13. Айдарова-Волкова Г. Н., Краснобаев И. В. Дерево в архитектуре прибрежных территорий исторического центра Казани // Жилищное строительство. 2019. № 1. С. 30–34.

Popov Anton Olegovich
candidate of technical sciences
E-mail: a.o.popov@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Biryuleva Dilyara Kamilovna
candidate of technical sciences, director
E-mail: dila899mail.ru
LTD ZTS «Development company «DKIM»
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Butlerov st., 54a

Town-planning development of the territory of the Main Admiralty building complex in Saint Petersburg of the period from 1800 to 1900

Abstract

Problem statement. The development of the territory of the complex of buildings of the Main Admiralty in the period from 1800 to 1900 coincides, and in many respects predetermines the stage of compositional improvement of St. Petersburg.

Results. The result of the authors' research is the systematization of archival data and historical and cultural studies conducted by the authors, on the basis of which a clear chronology of changes in the key territory for St. Petersburg is compiled.

Conclusions. The research presented in this paper allowed us to identify the stage of intensive development of the territory, as well as the stage of compositional improvement.

Keywords: historical and cultural monuments, engineering restoration, reconstruction, structural solutions.

References

1. Map of St. Petersburg 1805. Plan Peterman // 1805. URL: http://http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1805 (reference date: 28.10.2019).
2. Map of St. Petersburg in 1810. Savinkov Plan // 1810. URL: http://http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1810 (reference date: 28.10.2019).
3. Shuisky V. K. Andreyan Zakharov. L. : Lenizdat, 1989. 190 p.
4. Map of St. Petersburg in 1812 // 1812. URL: http://http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1812 (reference date: 28.10.2019).
5. Sashonko V. N. The Admiralty. L. : Lenizdat, 1982. 126 p.
6. Stieglitz M. S., Lelina V. I., Gordeeva M. A., Kirikov B. M. Monuments of industrial architecture of St. Petersburg. SPb. : Beloye i Chernoye publishing house, 2003. 223 p.
7. Langwagen Ya. Admiralty embankment // Zodchiy. 1872. № 2. P. 18–19.
8. Arnold M. Prospect of Emperor Alexander II // Zodchiy. 1872. № 4. P. 63–65.
9. Guide to St. Petersburg // 1899. URL: http://http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1899 (reference date: 28.10.2019).
10. Solov'eva T. A. Admiralty embankment. SPb. : Kriga, 2007. 176 p.
11. Lavrov L. P., Sementsov S. V. Globalization in architecture: three examples from Saint Petersburg // World applied sciences journal. 2013. № 13. P. 25–30.
12. Nadyrova Kh. G. Modern approach to the teaching of historical and architectural subjects // Design Revue. 2014. № 1. P. 68–73.
13. Aidarova-Volkova G. N., Krasnobaev I. V. Tree in the architecture of coastal areas of the historical center of Kazan // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2019. № 1. P. 30–34.

УДК 7.2.1
Галимуллина Альбина Дамировна
архитектор
E-mail: albina792galimullina@yandex.ru
ООО «СК Проект-Реставрация»
Адрес организации: 420044, Россия, г. Казань, ул. Ямашева, д. 36
Короткова Светлана Геннадьевна
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: svetlkor@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Архитектурные средства формирования детских развивающих и образовательных пространств

Аннотация

Постановка задачи. В статье рассматривается роль архитектурной среды в воспитании и развитии личности, в эффективности образовательного процесса. Цель исследования – определить средства архитектуры, которые влияют на чувства, возрастные и поведенческие особенности детей, а также сформулировать способы организации и планирования детских развивающих и образовательных пространств.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выявлении архитектурных приемов восприятия архитектуры детьми, позволяющих помочь ребенку адаптироваться в пространстве; в анализе примеров детских развивающих пространств; в предложении способов организации образовательного и развивающего пространства.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в выявлении влияния на поведение детей архитектурных пространств, являющихся развивающей средой, формирующих правильную объемно-пространственную композицию, тем самым создающих благоприятную среду для детей. Осознание данного факта может помочь в проектировании и строительстве детских развивающих пространств, с помощью системных приемов в архитектурных и планировочных решениях.

Ключевые слова: детское пространство, формирование пространства, архитектурная среда, влияние архитектуры на ребенка, детская архитектура.

Введение

В современном мире, особое внимание уделяется организации архитектурной среды развивающих и образовательных пространств. Дети гораздо чаще реагируют на изменения в своей среде обитания, чем взрослые, и, следовательно, сильнее зависят от пространственных условий.

Согласно исследованиям ученых, 85 % информации об окружающей нас среде мы получаем визуально, то есть через глаза, и только 15 % из других источников. Для человека, а в особенности для ребенка, пустое пространство, не заполненное ничем, не существует. Детям всегда необходимо видеть и чувствовать окружающее пространство всем своим сознанием [1].

Как отмечает исследователь в области экологической психологии М. Черноушек, окружающая среда состоит не только из естественной и искусственной среды обитания, но и имеет психологический фактор, который проявляется в чувствах и эмоциях, вызванных окружающей нас средой. Длительное пребывание в неблагоприятной среде приводит к возникновению изменений в психике человека [2].

Важным условием в развитии, воспитании и обучении должна стать архитектурная среда. Поэтому невозможно переоценить роль архитектурного пространства в жизни ребенка, так как она охватывает все его стороны, преобразует естественную и создает искусственную среду, влияет на ребенка, формируя его мировоззрение, изменяет его психологическое и физическое состояние. От структуры и функционально-эстетических качеств зависят многие параметры жизнедеятельности ребенка в пространстве, в котором он находится.

Влияние архитектурной среды в детских пространствах

Согласно статистическим данным, приблизительное число общеобразовательных учреждений превосходит 50 тысяч, при этом большую часть из них составляют общеобразовательные школы и школы-интернаты, преимущественно предоставляющие учащимся получение среднего образования.

Детская архитектура – средство развития и воспитания ребенка. В связи с этим, архитектура детских объектов понимается сегодня как самостоятельный фактор воспитания, напрямую связанный с учебным процессом и разносторонним развитием ребенка. Детское пространство – одно из основных образовательных и развивающих источников, которые должны вызывать любопытство, радость и волнение, обеспечивать безопасность и комфортность пребывания [3].

Кроме того, влияние окружающей среды в большей степени сказывается на изменениях социальной адаптации ребенка. Следовательно, перед тем как выявить архитектурные средства формирования детской среды, необходимо дифференцировать среду на развивающую, воспитательную и образовательную. С этой целью проанализированы примеры архитектурных пространств, способных повлиять на воспитание ребенка и развивать соответствующий тип социального поведения.

В наше время, существуют проблемы социализации подрастающего поколения, которые объясняются узкой направленностью процесса интеграции индивида в социальную систему. Стоит необходимость изучения влияния архитектурной среды на формирование социокультурных моделей поведения детей, так как практическая потребность в создании среды, способствует успешной социализации подростков.

Согласно литературе по детской психологии восприятия, ограниченная архитектурная среда не вызывает чувство привязанности к месту [4]. По этой причине, дети не могут развить идентичность в себе к окружающему пространству.

Архитектурная среда для детей должна быть особенной, творческой, и, безусловно, эргономичной. Выработаны стандартные требования к садикам, школам, и прежде всего, они касаются нормативного количества естественного света и цветовых предпочтений.

В качестве пространственных решений зданий для детей, авторами предлагается рассмотреть развивающие, воспитательные, обучающие и социализирующие образовательные пространства, с учетом принципов проектирования, архитектурных приемов и средств, помогающих адаптироваться ребенку в окружающей среде. Видимая визуальная среда оказывает значительное воздействие на состояние ребенка, его зрительное, психологическое и эмоциональное состояние.

Озелененный детский сад, спроектированный во Вьетнаме, разработан с применением принципа устойчивого проектирования, где детям дана возможность узнавать, как выращивать различные виды овощей. Проект предусматривает создание модели устойчивости с учётом особенностей тропического климата, что позволяет детям получать необходимые экологические навыки и знания с самого младшего возраста. Поверхность крыши покрыта травой и растениями, так создается дополнительное зеленое пространство с грядками. Подъем на крышу возможен с двух сторон по земле, обеспечивая легкий и безопасный доступ, что является немаловажным требованием. Все внутренние помещения просторные, с большими проемами, свободная планировка, перетекающих друг в друга пространств [5]. Благодаря свету, многочисленным нишам, оконным и дверным проемам, кабинеты кажутся визуально более просторными. Приемы, отмеченные выше, помогают детям развивать креативное мышление и фантазию, что способствует мотивации к обучению и развитию.

Необычный детский сад во Франции спроектирован по принципу органической архитектуры. Территория яслей напоминает живую клетку организма человека, зеленый сад вокруг – это цитоплазма, а стена, окружающая все здания – мембрана. Особенность интерьера заключается в том, что в здании нет коридоров, поэтому холлы, рабочие и игровые пространства плавно переходят один в другой. Вот почему все помещения отличаются друг от друга высотой потолков и способом освещения. Естественное освещение обеспечивают широкие зенитные фонари. Потолки установлены на минимально допустимую высоту, чтобы здание ориентировалось под детский масштаб.

Дизайн внутренних пространств детского сада создает спокойствие, безопасность и комфорт, а изогнутые перегородки и стены продолжают развивать органическую идею внешнего облика объекта. Еще одним приемом воздействия на реакцию детей является насыщенная цветовая гамма, активный рисунок на фрагментах поверхностей стен и потолков, а также сочетание плавных форм и округлых верхних окон, создающих достаточную освещенность в дневное время суток. Наличие цвета становится более важным в интерьере, так как основную часть времени дети проводят внутри, чем снаружи. В результате был сформирован уникальный динамичный интерьер, который воспринимается по-разному из любой точки. В данном примере прослеживается большое количество архитектурных средств, положительно влияющих на поведение и психику ребенка.

Учебное заведение, спроектированное с учетом принципа визуальной взаимосвязанности – это гимназия в Дании. Вместо традиционных классных комнат, предпочтительны открытые учебные классы. То есть используется прием открытого пространства, где внутренняя среда представляет собой одно большое помещение, практически без перегородок и дверей. Один класс плавно переходит во второй, второй – в третий, а третий – в зону развлечений и отдыха. По задумке проектировщиков, такая архитектура помогает развивать креативность, стремление к самообразованию, междисциплинарный поход и социальные навыки.

Применение особенностей поведения детей младшего возраста (5-8 лет) нашло отражение в проектах школ в Нидерландах и во Франции. Форма школы Galjoen School в Гааге сделана в виде крокодила, что, по мнению дизайнеров, делает его более привлекательным для детей. Здание школы невысокое, без лестниц, для того чтобы детям было удобнее переходить из класса в класс. Безопасные игровые площадки также являются частью концепции, что благотворно влияет на детей разных возрастов. Разнообразная по формам и функциям архитектурная среда, композиционные решения подсознательно вызывает изменения в психике, приводит к положительным эмоциям и чувствам в данном здании, а также в подобных пространствах.

Небольшая двухэтажная младшая школа Creche Rue Pierre Budin в Париже. Построена для детей младшего школьного возраста, в соответствии с их пропорциями: то есть двери, окна, интерьер, различные архитектурные элементы запланированы на детей невысокого роста. На один из фасадов здания установлены окна разных размеров, расположенные под разными углами, чтобы получать как можно больше солнечного света. Центральный двор расположен в центре двухэтажного здания, в окружении детских классов, который предназначен не только для игр на открытом пространстве, но и для того, чтобы собирать дополнительный свет для естественного освещения здания.

Как отмечалось выше, поведение, впечатления и эмоции ребенка не могут быть случайными, так же как и каждое архитектурное решение, оказывающее на него определённое влияние. Осознанное проектирование означает целенаправленный выбор объёмно-пространственного, композиционного и структурного решения, учитывая воздействие, которое оно будет оказывать на ребенка [6].

Формирование развивающей, воспитательной и образовательной среды

Понятие «среда» не имеет точного и однозначного определения, несмотря на широкое использование. В общем значении «среда» понимается как «окружение» или «окружающая социальная среда». А именно ближайшая среда и взаимосвязь с ней может оказывать наиболее сильное влияние на развитие и становление личности ребенка [7].

Образовательная среда – это система влияний и условий формирования личности по заданной форме, а также возможностей для ее развития, содержащихся в социальной и пространственной среде [7]. Развивающая среда представляет собой любое организованное образовательное пространство, в котором осуществляется процесс развития личности. В соответствии с определениями, выделены основные отличия и сходства между представленными пространствами (рис. 1).

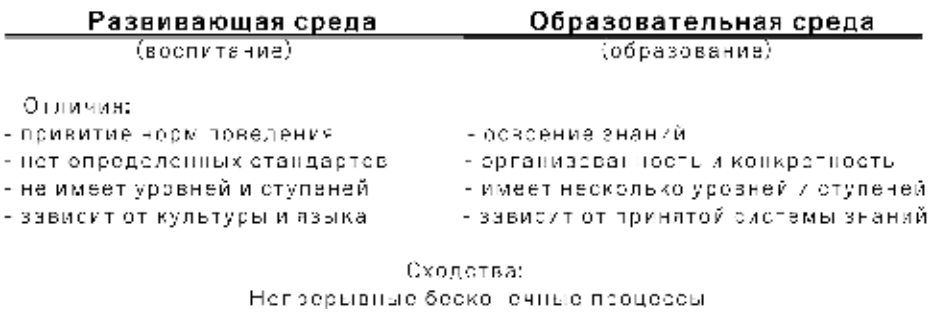


Рис. 1. Отличия и сходства развивающей и образовательной среды (иллюстрация авторов)

Окружающее пространство может давить и угнетать, или, наоборот способствовать работоспособности, изучению и творчеству. Ребенок может не заметить данного влияния, но все же оно есть. Возможно, это основополагающие принципы архитектуры: не то, в каком виде она выглядит, а то, как ее чувствуют дети и она позволяет им действовать, вести себя, думать и отражать свои чувства.

Особенности воспитания и образования происходят на основе объективных норм развития ребенка с раннего детства до достижения сознательного возраста. Учитывают индивидуальность развития индивида на каждом возрастном этапе, основной вид деятельности, особенности пользователей (рис. 2).

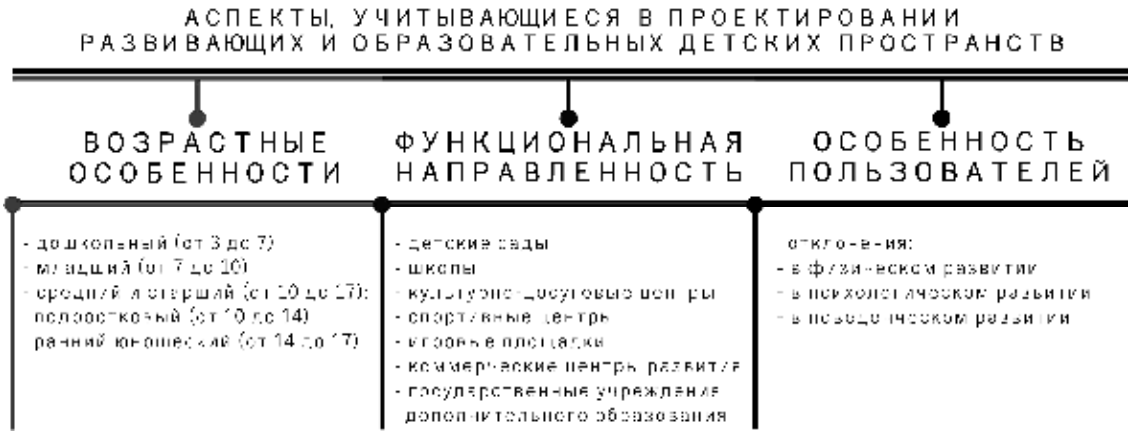


Рис. 2. Особенности систематизации детских пространств (иллюстрация авторов)

Поэтому при проектировании детской среды предусматриваются основные аспекты, влияющие на адаптивность архитектурного пространства детей и подростков. Основные способы организации пространства избирают с учетом психологии восприятия, назначения и многофункциональности здания, композиции внутренней структуры.

Основные архитектурные способы организации пространства

Следует отметить, что с помощью основных архитектурных способов, поведение может быть изменено на способное и приемлемое. Поведение ребенка создается на основе восприятия окружающей среды с использованием чувствительных инструментов и обработки информации в мозге, которая затем создает поведение в качестве реакции. Специалисты сходятся во мнении, что архитектура и интерьер детских образовательных пространств оказываются таким же стимулом для развития ребенка, как знания, полученные в ходе обучения.

Исходя из исследований взаимосвязи архитектурной среды и особенностями ее восприятия, авторами были выделены основные способы организации среды в детских развивающих и образовательных пространствах.

Архитектура – пространственное искусство, благодаря чему ощущение пространства является одним из самых основных в его восприятии. А именно восприятие

пространства – это понимание формы, величины, объёма объектов. Рассматривая фасад и внутренние пространства сооружения, ребенок может охарактеризовать здание: красивое или нет, определить цветовую гамму, форму, оценить величину, масштаб, пропорции постройки. Чувство величины здания мысленно соотносится с величиной собственного тела. Таким образом, ощущение пространственного фактора познается при перемещении ребенка внутри здания или вокруг.

Архитектура как наука имеет дело с манипулированием физической среды для облегчения определенных функций и выявления предполагаемого поведения. Эта среда состоит в основном из сенсорных элементов – текстур, цветов, узоров, акустики, света и т.д.

К особенностям детского восприятия архитектуры относят несколько способов, а именно визуальное (цвет, фактура, линии), тактильное (текстура, форма) и слуховое (шум, звук, музыка). Тактильные ощущения, как немаловажная форма, возникают у ребенка при соприкосновении с материалом постройки сооружения. К примеру, прикасаясь к камню, дереву, стеклу ребенок может дать характеристику тому или иному материалу (теплое или холодное, гладкое или шершавое) [8]. Главным при взаимодействии ребенка с архитектурой, будет являться зрительное восприятие.

За последние одиннадцать десятилетий практических наблюдений и научных исследований, было доказано, что реакция человека на окружение в архитектурной среде в значительной степени основана на восприятии цвета [9]. Ясно, что простейшим стимулом, который может повлиять на психологию и поведение ребенка, является цвет. Согласно теории, цвет способен влиять на поведение детей, в то время как порядок окружающей среды способен формировать поведение ребенка внутри. Основываясь на этой теории, подход, используемый в настоящем исследовании, является поведенческим и цветовым подходами.

Организация архитектурного пространства для детей исключает монохромность. Символическое значение, которое имеет цветовая особенность, распознается подсознанием, влияющим на поток и количество энергии в организме. Цвет может заинтересовать ребенка, создать запоминающееся пространство и атмосферу, поэтому психологически это дает эмоциональное влияние [10]. То, что видят дети и с чем взаимодействуют, – это цвета, включающие в себя как естественную, так и искусственную среду. Через зрение, визуально, они воспринимают около 80 % информации. Цвет не просто дает объективную информацию о мире – он влияет на то, как себя чувствует ребенок.

Дети считают, что цвет школьных стен важен, и большинство думает, что в их школе цвет стен скучный и непривлекательный. Родители и учителя считают цвет не важным. Часто ученики жалуются на усталость глаз в классе, поэтому рекомендуется красить стену за спиной учителя в цвет, отличный от других стен. Окружающая среда и ее цвета воспринимаются детьми, мозг обрабатывает и оценивает то, что он воспринимает на объективной и субъективной основе. Психологическое влияние, общение, информация и воздействие на психику – это аспекты процессов восприятия [11]. Следовательно, цели цветового дизайна в архитектурном пространстве не относятся только к декорированию.

Рассматривая воздействия на психику и его отличительные качества, цвета делятся на две категории, которые являются теплыми и холодными цветами. Цвет между этими двумя категориями цветовых групп можно назвать «промежуточными». На наш взгляд, теплый психологический, волнующий, возбуждающий и стимулирующий эффект дают теплые цвета, такие как красный, оранжевый и желтый. Холодные цвета, зеленый и синий, дают успокаивающий и расслабляющий эффект, а фиолетовый приносит угнетающее действие. В то время белый дает эффект чистоты, открытости и яркости, а черный дает тяжелый, формальный, и неприятный эффект [12]. К тому же эксперименты показали, что когда детей просят выбрать один и тот же объект, который отличается формой и цветом, дети почти всегда выбирают цветные объекты.

В качестве следующих приемов в формировании архитектурной среды рассмотрим фактуру и текстуру. Хорошие результаты дает использование отделочного материала рядом с другим, контрастным ему по фактуре [8]. Фактура и текстура представляют собой активные средства организации пространства. Фактура, свойства текстуры и естественный цвет материала обладают объективным качеством архитектурной формы и представляют собой активное средство художественной выразительности. Важным

свойством архитектурной формы выступает фактура материала, отражающая объемный характер поверхности, в то время как текстура (рисунок) отражает линейную структуру материала на поверхности (например, текстура древесины). Эффект фактуры и текстуры используется прежде всего для того, чтобы передать естественные качества материала, раскрыть его эстетическое своеобразие. Поэтому если фактура или текстура материала очень выразительны, то их воздействие на наблюдающего ребенка может быть сильнее, чем воздействие самой формы объекта.

Именно в детской архитектуре самое главное соблюдать правильные масштабы. Масштаб очень сильно влияет на восприятие мира маленьким ребенком. Проектируя детский сад или младшую школу, надо понимать, что интерьер должен быть пропорционален росту ребенка. Данный прием прослеживается в младшей школе Creche Rue Pierre Budin во Франции. Другое ключевое качество для детской среды – это открытость и дружелюбие, которое создается за счет внутренней планировки. Поэтому вместо того, чтобы строить одно монолитное здание, желательно проектировать несколько построек, разных форм и размеров.

Перейдем к другому способу формирования детской среды, к свету. В целом, воздействие света на познавательные функции хорошо доказано. Этот прием наблюдается в необычном детском саду во Франции. Условия освещения окружающей среды влияют на широкий спектр физиологических и поведенческих процессов у детей, таких как настроения и познания. Кроме того, много солнечного света, поступающего в здание, способно поддерживать умственные функции, здоровье и деятельность, а также снизить потребность в энергии. Обобщающие результаты доказывают, что хорошо продуманная архитектура, которая бывает светлой, легко ориентируемой, обеспечивающая открытый вид и хорошее освещение, может поддерживать благополучие ее обитателей. Кроме того, много солнечного света, поступающего в здание, способно поддерживать умственные функции, здоровье и деятельность, а также снизить потребность в энергии.

Современные исследования школьного пространства и архитектуры фокусируются предпочтительно на эксплуатационных качествах помещений, таких как естественный дневной свет, чистота воздуха, температура и уровень шума, влияющие на индивидуальную успеваемость. При проектировании необходимо учитывать действия и поведение детей, которые используют пространство с учетом их потребностей, будь то функциональные, социальные и психологические.

Необходимо выделить, что дети имеют целостное восприятие, а именно их чувства влияют на мышление, модели поведения и действия и, следовательно, на все тело. Если чувства положительно стимулируются, это может иметь оживляющий или успокаивающий эффект, способствовать мотивации, готовности действовать и усиливать концентрацию. Если ребенок чувствует себя некомфортно в пространстве, это может привести к беспокойству или дискомфорту, гиперчувствительности, вялости. Как правило, эти эффекты проявляются не сразу, а через несколько месяцев или лет.

Еще одним важным элементом среды, можно назвать открытые пространства и взаимодействие с природой, показывающий, что природная среда может способствовать снижению гнева, беспокойства, улучшают общий результат здоровья и помогают в расслаблении. Взаимосвязь окружающей среды используется в детском саду во Вьетнаме. Архитекторы студии Vo Trong Nghia Architects уверены, что зеленые пространства помогают улучшить настроение и способность сосредоточиться, что помогает быстрее восстанавливаться от умственной усталости и преодолевать стресс [5]. На открытом воздухе обеспечивается наличие физической активности, упражнений и прогулки.

За последние несколько десятилетий, анализ в различных областях показывает, что взаимодействие с природой создает эмоциональные, социальные и когнитивные преимущества [13]. Изучения описывают пользу от природы, которая происходит через прямой контакт (сидя в саду на открытом воздухе, либо играя на благоустроенной площадке), непрямой контакт (через вид из окна), и от имитации с использованием природы (плакаты или картины). Прием открытых пространств прослеживается не только во внешней среде, но и во внутренней, где пространства необходимо выполнить максимально разнообразно, и открыто, без лишних видимых ограждений. Гимназия в Дании представляет собой отличный пример, в котором используется данный прием.

Наконец, хорошо спроектированное пространство, также должно быть универсальным и подходящим для его основного использования. Продуманность среды вместе с хорошим дизайном – это то, где ребенку не предписывается, как он должен управлять или чувствовать себя в здании. Но, в то же время, у него есть возможность исследовать пространство и испытать на себе [14]. В проектном решении следует избегать монотонности и скучности, как в функциональном плане, так и в планировке в целом, желательно создавать уникальные решения организации архитектурной среды и формирования пространства зданий (рис. 3).

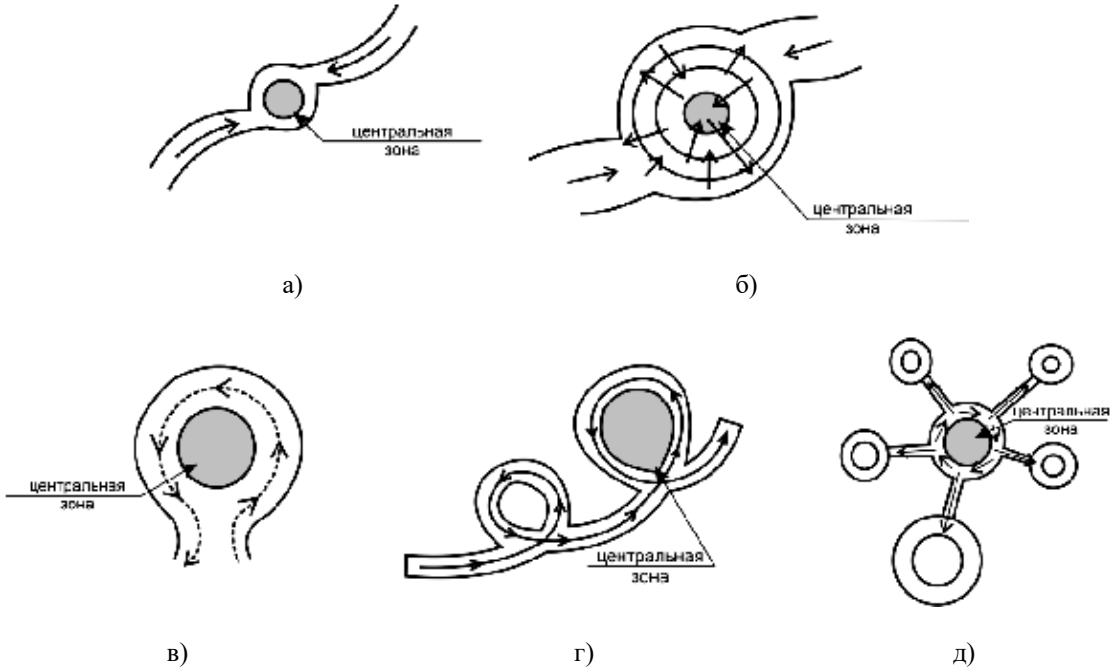


Рис. 3. Схемы организации архитектурно-пространственной среды (иллюстрация авторов):
а) линейная; б) центрично-радиальная; в) линейно-кольцевая;
г) линейно-сложная; д) многоцентровая

Одной из основных задач детской архитектурной среды является приведение процессов, протекающих в проектируемом здании, в функциональную систему. Установив последовательность этих процессов, определяется взаимосвязь между отдельными помещениями или их группами и создается архитектурно-пространственная схема.

Организация детских учреждений определяется требованиями, обеспечивающими безопасность детей и возможность постоянного контроля над ними. При формировании новых идей в планировке и интерьере, связанных с современным образовательным процессом и выработкой подходов взаимодействия с архитектурой, показана классификация архитектурно-пространственной среды. Ее главной целью становится определение центральной зоны в разнообразных функционально-композиционных системах. С учетом этого, в основу планировочной организации лег принцип органического формообразования.

Центром композиции называют место скопления основных важнейших связей между всеми элементами. Таким образом, композиционная устойчивость связана с характером организации пространства, расположением главной и второстепенных частей. Линейная схема основана на коридорной группировке помещений. В центрично-радиальной схеме планировка отличается компактностью. Главное помещение имеет большие размеры, а вокруг него группируются вспомогательные, имеющие маленькую площадь. В здании с линейно-кольцевой системой все помещения находятся друг за другом, в последовательном порядке, связаны между собой единым центром. Линейно-сложная структура конфигурации плана объединяется в общую целостную композицию.

Здание, имеющее многоцентровую схему, складывается из одного основного центра и других соподчиненных элементов, группирующихся по отношению к нему.

В результате определения основных планировочных схем, можно сделать вывод, что центральное пространство должно быть защищено от неблагоприятных воздействий, так как является главным, но при этом остается частью среды. Также центральная зона позволяет сократить время на перемещение, а сама организация помещений вокруг единого участка облегчает ориентацию в здании.

Заключение

В целях реализации принципов формирования архитектурной среды для детей, способствующей социализации и к саморазвитию, выявлены основные средства и приемы: планировочные, прием взаимодействия архитектурных форм с элементами окружающей среды; прием масштабного изменения; прием архитектурно-художественной разнообразности; цветовые и световые приемы; прием детальной обработки в зоне тактильной доступности. Классификация свойств архитектурно-пространственной среды, как и способы организации пространства, помогут не только в проектировании детских учреждений, но и в стимулировании ребенка к самостоятельной и творческой деятельности.

Авторы отмечают, что развивающие и образовательные пространства, имеющие основные вышеперечисленные архитектурные решения и приемы, необычные формы и образы, оказывают эффективное влияние на поведение, мировоззрение и действия детей. Осознание того, как окружающая среда влияет на детей, позволяет принципиально по-другому относиться к сооружению, в котором ребенок будет проводить время и учиться. От этого, безусловно, будет зависеть психологическое и эмоциональное состояние обучающегося.

Список библиографических ссылок

1. Савенкова Л. Г. Пространство и среда в воспитании и развитии ребенка-дошкольника // Педагогика искусства. 2012. № 2. С. 203–217.
2. Черноушек М. Психология жизненной среды. М. : Мысль, 1989. С. 5–8.
3. Бурова Т. Ю. Этапы профессиональной социализации обучающихся на творческой специальности : материалы 13-ой Международной научно-практической конференции. Казань, 2019. С. 74–77.
4. Нартова-Бочавер С. К. Теория приватности как направление зарубежной психологии // Психологический журнал. 2006. № 27 (5). С. 28–39.
5. Удивительный детский сад во Вьетнаме // ecology.md: электронный ресурс. 2014. URL: http://ecology.md/page/udivitelnyj-detskij-sad-vo-vetname (дата обращения: 08.04.2019).
6. Страутманис И. А. Информативно-эмоциональный потенциал архитектуры. М. : Стройиздат, 1978. 120 с.
7. Ясвин В. А. Образовательная среда: от моделирования к проектированию. 2-е изд., испр. и доп. М. : Смысл, 2001. 366 с.
8. Hebat Allah Hamdy Mahmud. Architectural elements of the interior that affect the psychology and human behavior // International journal: publication of the academic scientific community. 2017. № 1. 9 p.
9. Рац А. П. Основы цветоведения и колористики. Цвет в живописи, архитектуре и дизайне. М. : Московский государственный строительный университет, 2014. 128 с.
10. Maggiora Nuansa Al-Gin, Josef Priyotoma, Bambang Sumardjono. Behavior and color approach in the design of the training center for the mentally retarded in Ponorogo // International scientific and educational journal. 2016. № 6. P. 370–371.
11. Колин Эллард. Среда обитания: как архитектура влияет на наше поведение и самочувствие. М. : Альпина Паблишер, 2016. 158 с.
12. Magda Mostafa. Architecture for autism // International journal of architectural research. 2014. № 1. P. 191–193.
13. Carol Simon Weinstein, Thomas George David. Spaces for children: the built environment and child development. 1987. P. 41–72.

14. Тезисы докладов : сб. научных 68-й Всероссийской научной конференции, Казань, 2016. 103 с.

Galimullina Albina Damirovna
architect
E-mail: albina792galimullina@yandex.ru
LLC «SK Project-Restoration»
The organization address: 420044, Russia, Kazan, Yamasheva st., 36
Korotkova Svetlana Gennadevna
candidate of architecture, associate professor
E-mail: svetlkor@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Architectural means of formation of children's developing and educational spaces

Abstract

Problem statement. The article discusses the role of the architectural environment in the education and development of the individual, in the effectiveness of the educational process. The aim of the study is to determine the means of architecture that affect the feelings and behavior, age and behavioral characteristics of children, as well as to formulate ways of organizing and planning children's developmental and educational spaces.

Results. The main results of the study – revealed architectural techniques of perception of architecture by children, allowing to help the child to adapt in space; analyzed examples of children's developing spaces; given the ways of organization of educational and developmental space.

Conclusions. The significance of the results for architecture is that architectural spaces influence the behavior of children, being a developing environment, forming the correct spatial composition, thereby creating a favorable environment for children. Awareness of this fact can help in the design and construction of children's educational spaces, with the help of system techniques in architectural and planning solutions.

Keywords: children's space, formation of space, architectural environment, influence of architecture on the child, children's architecture.

References

1. Savenkova L. G. Space and environment in the upbringing and development of a preschool child // Pedagogika iskusstva. 2012. № 2. P. 203–217.
2. Chernoushek M. Psychology of the living environment. M. : Mysl, 1989. P. 5–8.
3. Burova T. Y. Stages of professional socialization of students in the creative specialty : materials of the 13th International scientific and practical conference. Kazan, 2019. P. 74–77.
4. Nartova-Bochaver S. K. Theory of privacy as a direction of foreign psychology // Psychological journal. 2006. № 27 (5). P. 28–39.
5. An amazing kindergarten in Vietnam // ecology.md: electronic resource. 2014. URL: http://ecology.md/page/udivitelnyj-detskij-sad-vo-vetname (reference date: 08.04.2019).
6. Strautmanis I. A. Informative-emotional potential of architecture. M. : Stroyizdat, 1978. 120 p.
7. Yasvin V. A. Educational environment: from modeling to design. 2nd ed., rev. and add. M. : Smysl, 2001. 366 p.
8. Hebat Allah Hamdy Mahmud. Architectural elements of the interior that affect the psychology and human behavior // International journal: publication of the academic scientific community. 2017. № 1. 9 p.
9. Rats A. P. Fundamentals of color science and coloristics. Color in painting, architecture and design. M. : Moscow State University of Engineering, 2014.128 p.

10. Maggiora Nuansa Al-Gin, Josef Priyotoma, Bambang Sumardjono. Behavior and color approach in the design of the training center for the mentally retarded in Ponorogo // International scientific and educational journal. 2016. № 6. P. 370–371.
11. Colin Ellard. Habitat: how architecture affects our behavior and well-being. M. : Alpina Publisher, 2016. 158 p.
12. Magda Mostafa. Architecture for autism // International journal of architectural research. 2014. № 1. P. 191–193.
13. Carol Simon Weinstein, Thomas George David. Spaces for children: the built environment and child development. 1987. P. 41–72.
14. Thesises of reports : proceedings of the 68th All-Russian scientific conference, Kazan, 2016. 103 p.

УДК 711.58
Гатауллина Аида Айратовна
архитектор
E-mail: aida-gataullina@yandex.ru
ООО «ROBEL GROUP»
Адрес организации: 420073, Россия, г. Казань, ул. Гвардейская, д. 33
Новиков Степан Викторович
кандидат архитектуры, ассистент
E-mail: to-stepa@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Архитектурная классификация внутриквартальных пространств казанского Соцгорода

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – классификация открытых общественных и дворовых пространств Соцгорода Казани.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в структурировании и выявлении особенностей планировочной организации территории Соцгорода в целях дальнейшего сохранения, реконструкции и современного использования объекта культурного наследия.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что они позволят значительно повысить качество знаний и представлений о комфортных микрорайонах и комплексах типа Соцгород, которые можно применять в современных условиях.

Ключевые слова: Соцгород, микрорайон, дворовое пространство, классификация общественных пространств, публичные пространства.

Введение

В России принято считать архитектурным наследием объекты XVIII-XIX столетий и только недавно в список памятников архитектуры стали включать объекты XX в., представляющие не меньшую архитектурную ценность.

Соцгород – наименование для строившихся в 1930-е гг. по единому плану жилых массивов. Сам термин вошёл в широкое употребление в 1929 г., в момент начала осуществления первого пятилетнего плана социалистической индустриализации [1]. Соцгород является историко-культурным и архитектурным феноменом XX столетия. По приказу Министерства культуры Республики Татарстан № 420од от 28.04.2018 казанский Соцгород был включен в реестр объектов культурного наследия народов Российской Федерации с присвоением статуса объекта культурного наследия (ОКН) регионального значения достопримечательного места.

Исследованием Соцгорода в разное время занимались некоторые учёные и архитекторы. Советский архитектор Милютин Н.А. («Соцгород проблема строительства социалистических городов: Основные вопросы рациональной планировки и строительства населенных мест СССР» 1930 г.). Меерович М.Г. кандидат архитектуры, доктор исторических наук, автор большого количества научных статей, монографий посвященных советской градостроительной политике («Рождение соцгорода. Градостроительная политика в СССР 1926-1932 гг.» 2008 г., «Кладбище соцгородов: градостроительная политика в СССР 1928-1932 гг.» 2011г.) Конышева Е.В. кандидат искусствоведения, специалист региональной истории архитектуры («Кладбище соцгородов: градостроительная политика в СССР 1928-1932 гг.» 2011 г. в соавторстве с М. Мееровичем). Советский период в архитектуре города Казани исследовали такие архитекторы, как Саначин С.П., Искандаров М.М., Закирова Т.Р. В 2015 году преподавателем КГАСУ Гришиной М.П. защищена диссертация на тему «Архитектурно-пространственное развитие городских садов и парков Казани в советский период».

Сегодня назрела проблема сохранения и адаптации уникальных исторических пространств, которые частично утратили своё изначальное предназначение, ввиду изменения социально-политического устройства общества, но при этом потенциал данных пространств недооценен и требует осмысления, анализа, натурного обследования, изучения истории этих территорий и развития. В результате исследования была составлена классификация, позволяющая проводить работы по сохранению ОКН.

История создания Соцгорода в Казани

Соцгород – жилой массив-микрорайон, появившийся в СССР и образованный при крупных заводах для проживания работников и их семей. Они строились на всей территории Советского Союза в 1930-е годы. За время индустриального строительства в 1930-1960 гг. XX в. построено 37 Соцгородов на территории всего СССР[1].

В 1931 г. на территории Казани началось возведение жилищного поселка при заводе № 124[2]. Разработкой проекта в разное время занимались такие архитекторы:

- 1931-1934 гг. Гипрогор Москва (ул. Копылова, ул. Тимирязева, ул. Челюскина, ул. Белинского).
- 1932-1934 гг. арх. К.М. Соколов, В.Н. Симбирцев.
- 1933 г. арх. В.Н. Симбирцев Г.Р. Сум-Шик, С.А. Лопатин;
- 1938 г. Г.Н. Ману (дома по ул. Тимирязева д. 4, ул. Тимирязева д. 8).
- 1938-1939 гг. Горстройпроект Москва, мастерская академика И.В. Жолтовского, арх. Л.Б. Каток (проект дома по ул. Белинского д. 1, ул. Лядова д. 4, ул. Лядова д. 13/4).
- 1939 г. Т.Н. Дружинина, Р.М. Муртазин, А.Н. Ожиганов (проект дома по ул. Белинского д. 1).
- 1952 г. продолжил работу Е.Н. Круковский (проект дома по ул. Белинского д. 1) [2].

Казанский Соцгород включал в себя все необходимое для комфортного проживания работников завода. Санитарно-технические и культурно-бытовые учреждения. Например, многоквартирные жилые дома, молодежный центр им. А. Гайдая, дворец культуры им. Ленина, стадион «Рубин», парки Крылья Советов и детского отдыха, скверы им. Орджоникидзе, им. Белинского, Молодежный, школы, детсады; больницы, поликлиники и прочие объекты инфраструктуры местного значения. Территориально микрорайон находится на севере города в Авиастроительном районе. Микрорайон Соцгород г. Казани образован путем соединения двух поселков «Поселок № 2» и «Поселок им. Орджоникидзе» (он же «Поселок № 1»). С востока расположен парк «Крылья Советов» на территории расположен стадион «Рубин», спортивные базы футбольного клуба «Рубин». Планировочная структура микрорайона регулярно-прямоугольная, задается шестью параллельными и двумя перпендикулярными транспортными осями. Центральная магистраль района – улица Копылова, с запада к ней примыкают улицы Социалистическая, Индустриальная, Белинского, Лядова, Тимирязева, Тэцевская, с востока – улицы Олега Кошевого и Дементьева. Территория микрорайона ограничивается на севере улицей Социалистическая, на юге – улицей Тэцевская. Северо-восточнее находится микрорайон Караваево, северо-западнее - городской посёлок – микрорайон Новое Караваево, западнее городской посёлок Грабарский (рис. 1).

[1]1) г. Алексин; 2) г. Березники; 3) г. Волгоград; 4) г. Дзержинск; 5) г. Димитровград; 6) Железногорск; 7) г. Запорожье; 8) г. Ижевск; 9) г. Казань; 10) г. Каменское; 11) г. Каменск-Шахтинский; 12) г. Каменск-Уральский; 13) г. Караганда; 14) г. Киев; 15) г. Краматорск; 16) г. Кривой Рог; 17) г. Ленинск-Кузнецкий; 18) г. Липецк; 19) г. Луховицы; 20) г. Магнитогорск; 21) г. Нижний Новгород; 22) г. Никополь; 23) г. Новокузнецк; 24) «Сибсельмаш» г. Новосибирск; 25) Соцгород завода имени Чкалова, г. Новосибирск; 26) г. Новочеркасск; 27) г. Орск; 28) г. Первоуральск; 29) г. Пушкино; 30) г. Темиртау; 31) г. Тольятти; 32) г. Улан-Удэ; 33) г. Уфа; 34) Новый Харьков; 35) Соцгород «ЧМЗ», г. Челябинск; 36) Соцгород «ЧТЗ» г. Челябинск; 37) г. Электросталь.

[2]В 1932 г. в г. Казани начато строительство авиационного комбината «Казмашстрой», в 1934 г. – присвоено название «Завод № 124 им. Серго Орджоникидзе». В октябре-ноябре 1941 г. «Московский авиационный завод № 22 им. С.П. Горбунова» был эвакуирован в Казань на территорию «Завода № 124 имени Серго Орджоникидзе». В декабре 1941 г. Приказом Наркомата авиапромышленности СССР новое предприятие получило официальное название – «Казанский авиационный завод № 22 им. С.П. Горбунова».

Рис. 1. Ситуационный план (иллюстрация авторов)

К выбору периметральной застройки со строчными домами и организацией дворов по принципу компактного функционального зонирования территории с использованием природных условий местности и созданием рукотворных ландшафтов планировщиков подталкивала провозглашаемая руководством страны ориентация на максимальную экономию финансовых средств и материальных ресурсов при проектировании жилищного строительства. Именно экономия всех ресурсов вынуждала проектировщиков выбирать прямоугольную планировочную сетку улиц с укрупненным кварталом, потому что она позволяла сокращать: а) общую протяженность проездов; б) число проездов с односторонней ориентацией застройки; в) протяженность инженерных сетей. Все это в совокупности приводило к снижению расходов на благоустройство и инженерное оборудование территории и к уменьшению затрат на строительство поселения в целом [3].

Ул. Белинского, разделяющая территорию на поселки № 1 и № 2, одна из главных артерий микрорайона, бульварная улица, ведущая от ДК «Ленина» и площади «Соцгород». Нечетная сторона является подобием «Бродвея» – главная торговая улица микрорайона. Первые этажи отданы под торговые функции, такие как магазины, аптеки, булочные, парикмахерские, мастерские по ремонту и прочие необходимые услуги. Четная сторона улицы – «променад» – более тихая и озелененная, с располагающимся сквером «Белинского». Её пересекают ул. Копылова и ул. Челюскина.

Особенность Соцгорода – отсутствие закрытых дворовых пространств. Пешеходные маршруты связывают между собой все территории и пространства, пронизывая весь микрорайон, создавая целостный пешеходный маршрут. Дворовые территории – неотъемлемая часть района, одновременно общественная и частная, так как удовлетворяют потребности жильцов дома и потребности жильцов всего района. Арки домов расположены по одной оси. В них просматриваются арки следующих домов и пространства придомовых территорий, подобную систему можно назвать уличной

анфиладой[3]. Так же нужно отметить, что многие архитектурно-планировочные приемы, использованные в проектировании данного микрорайона, успешно функционируют и служат жителям спустя 88 лет. Как, например, бульвары, которые образуют собой тихие и торговые улицы, скверы им. Белинского, им. Орджоникидзе, парк «Крылья Советов», помещения под хозяйственные нужды, расположенные во дворах «Поселка № 2» (рис. 2).

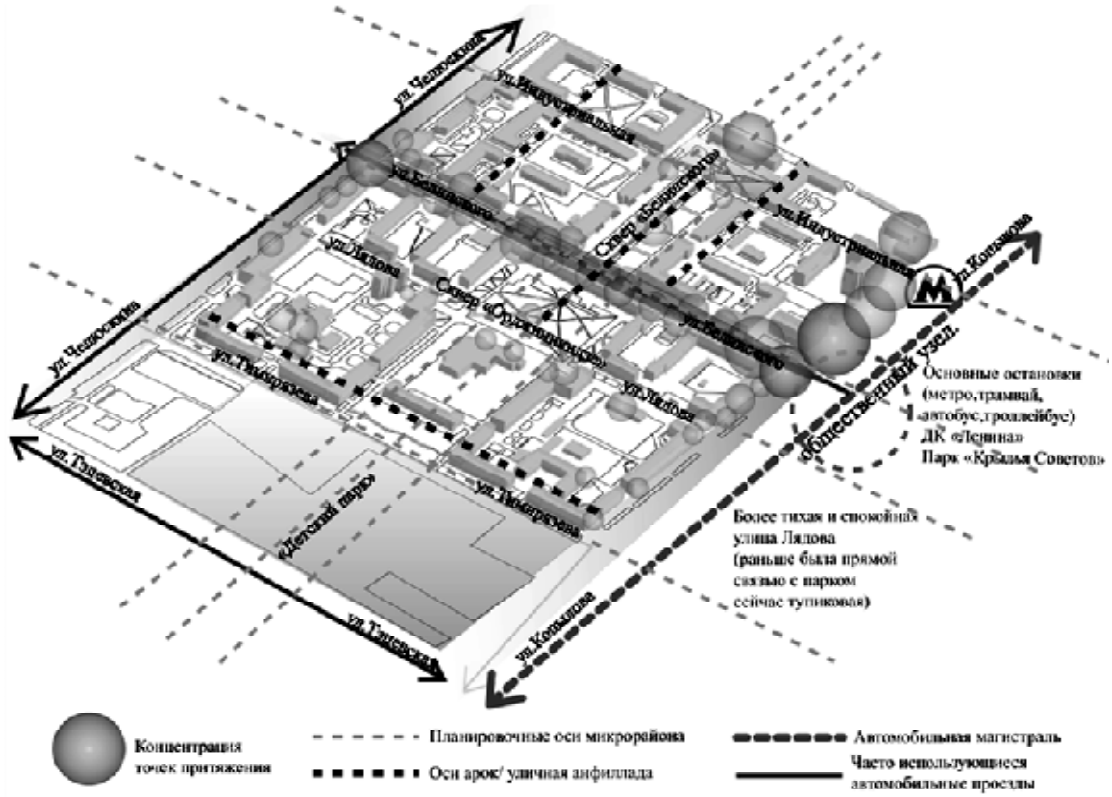


Рис. 2. Опорный план (иллюстрация авторов)

Соцгорода имеют строгую иерархию общественных пространств:

1) общегородской центр с главной площадью (с расположением на ней важнейших городских объектов советского, партийного, социально-культурного назначения);

2) центры планировочных элементов жилой зоны с второстепенными площадями;

3) внутриквартальные (дворовые) общественные пространства (с расположением на них агитационно-спортивных сооружений);

4) придомовые территории (с устроенными при жилых домах детскими площадками);

5) сеть детских заведений;

6) сеть объектов здравоохранения;

7) сеть объектов обслуживания, включающая; а) объекты общегородского значения; б) объекты квартального значения; в) учреждения обслуживания, размещаемые в жилых домах (в специально отводимых для этого помещениях первых этажей или приспособленных под них квартирах);

8) систему зеленых зон, поясов, коридоров и т.п., состоящую их двух частей: а) внутренние – парки, скверы, бульвары и проч.; б) внешние – окружающие зеленые зоны, выполняющие функцию «фильтров-разрывов» между селитьбой и промышленной зоной и функцию мест неорганизованного пригородного отдыха и рекреации [4].

[3]Анфилада – длинная группа последовательно расположенных помещений или открытых пространств, имеющих общие сквозные проходы такие как, двери, арки, расположенные по одной оси.

Классификация открытых общественных пространств

Внутриквартальные пространства существуют в системе города, каждая территория имеет свое социальное значение и уровень, такой как центральный – городской, и периферийный – районный или микрорайонный (рис. 3).

Рис. 3. Классификация пространств (иллюстрация авторов)

Городское пространство обслуживает и работает на территорию всего города и является точкой притяжение для людей всех районов. Например, парк «Крылья Советов».

Районное пространство работает и обслуживает жителей всего Авиастроительного района. Например, площадь «Соцгород» перед «ДК им. Ленина».

Микрорайонное пространство удовлетворяет потребностям, проживающих в «Поселке № 2» и в поселке «им. Серго Орджоникидзе» жителей, к ним относятся все дворы и скверы. Например, «им. Серго Орджоникидзе», «им. Белинского» и ранее функционировавший «Молодежный».

На территории казанского Соцгорода располагаются социально-культурные объекты разных категорий, такие как парк «Крылья Советов», который является городским парком и служит точкой притяжения для людей со всего города. Скверы «им. Орджоникидзе» и «им. Белинского» на данный момент являются микрорайонными скверами для отдыха, их используют люди, проживающие в близлежащих домах. У данных скверов есть потенциал стать общественными пространствами районного масштаба, после их реконструкции, они смогут привлекать большее количество людей, став полноценным рекреационным пространством. По планировочной структуре все рекреационные пространства рассматриваемого микрорайона расположены на центральной вертикальной оси, и завершаются парком «Детского отдыха» территория между ул. Тимирязева и ул. Тэцевская. В настоящее время данное пространство утратило свою первоначальную функцию и используется для транзита местными жителями.

На основе классификации О.В. Паченкова [5], определены следующие типологические открытые общественные пространства рассматриваемого микрорайона, где выделяется пять типов общественных пространств, необходимых современному городу:

- социально-событийные – площади, улицы;

- зеленые рекреационные – парки и скверы;
- обыденные – дворы, придомовые детские и спортивные площадки.

Классификация улиц Соцгорода

Улица – протяжённая часть территории населённого пункта, предназначенная для движения городского транспорта и пешеходов или только пешеходов. На рассматриваемой территории можно выделить следующие подвиды улиц по городскому значению. Ул. Копылова – транспортная магистраль городского значения с выделенными полосами для движения общественного транспорта и трамвайными линиями (рис. 4б). Улицы районного значения – ул. Челюскина, ул. Тэцевская. Улицы микрорайонного значения – ул. Лядова, ул. Тимирязева, ул. Индустриальная (рис. 4д).

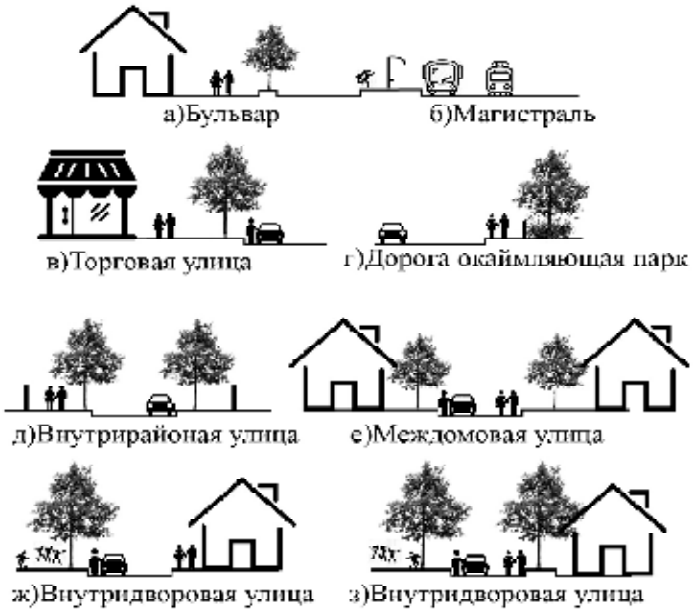


Рис. 4. Классификация улиц микрорайона (иллюстрация авторов)

Улицы классифицируются по характеру использования. Преимущественно улицы микрорайона используются совместно пешеходами и автомобилистами, так как отсутствуют пешеходные улицы. Бульвары – озелененная территория линейной формы, расположенная, как правило, вдоль улиц и рек, предназначенная для транзитного пешеходного движения, прогулок, повседневного отдыха, шириной не менее 15 м [6]. Левая сторона ул. Копылова является бульваром, она отделена от магистральной части автомобильным проездом, «островом» общественных остановок и зелеными насаждениями (рис. 4а). Ул. Белинского – главная торговая улица микрорайона, на первых этажах домов расположены различные продуктовые, хозяйственные магазины и прочие точки обслуживания местного населения (рис. 4в). Дороги, окаймляющие парк – ул. Дементьева, ул. Тэцевская, ул. Олега Кошевого, проходящие вдоль парка «Крылья Советов» (рис. 4г). Внутренние проезды жилого микрорайона разделяются на следующие типы улиц: междомовая (рис. 4е), внутри дворовая – территория для проезда транспортных средств, использующаяся жителями домов, они делятся на два типа (рис. 4ж) и (рис. 4з).

Дворовые пространства

Дворы – (от слав. dvor в значениях «дом», «изба», «семья вместе со своим) домом», участок земли при доме, огороженный забором или стенами зданий [7].

В результате проведенного исследования существующие дворовые пространства данной территории классифицированы и разделены на 4 группы по типу окружающей застройки и характеру использования (рис. 5).

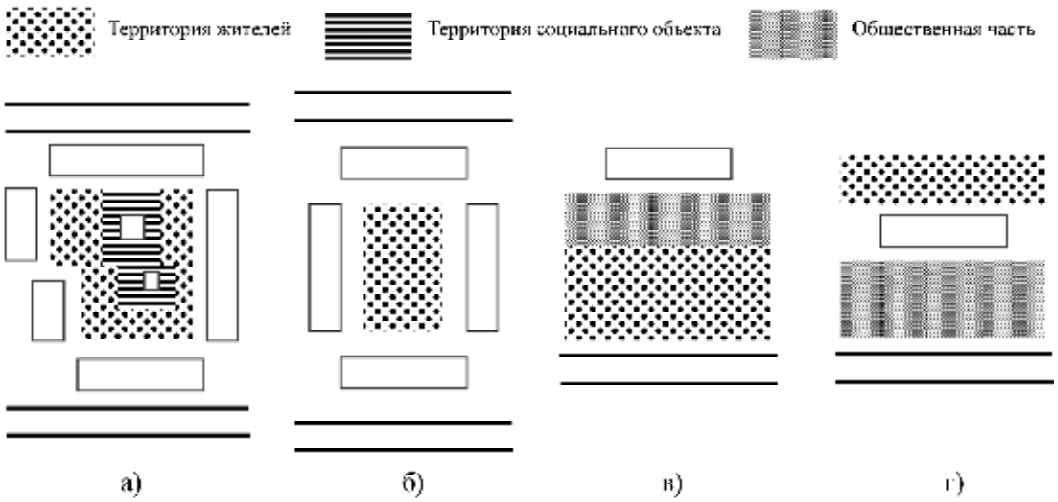


Рис. 5. Классификация дворовых пространств (иллюстрация авторов):
а) Двор, совмещенный с социальными объектами, которые обслуживают микрорайон.
б) Замкнутый, скрытый двор от пешеходов, полностью окруженный домами.
Служит рекреационным пространством для жителей.
в) Общественно-жилой двор совмещает две функции.
Пространство поделено между жителями дома и жителями района.
г) Публичный двор, доступный для всех, окружён домом с одной стороны.

Площадь

Площади – открытое, архитектурно-организованное, обрамлённое сооружениями или зелёными насаждениями пространство, входящее в систему других городских пространств**.** Например, площадь «Соцгород» расположена у ДК «им. Ленина». На пересечение ул. Копылова с ул. Олега Кошевого (рис. 6).

Рис. 6. Площадь Соцгород (иллюстрация авторов)

Зеленые пространства

Сквер – небольшой озеленённый участок в населённом пункте, используемый для отдыха и декоративного оформления площадей и улиц. Сквер «им. Белинского» (рис. 7а) расположен на возвышении между ул. Индустриальная и ул. Белинская, в центре расположен работающий фонтан, сохранившийся с момента основания сквера ориентировочно 40-50-е г. XX в. Планировочная структура регулярная. Растения, произрастающие в сквере – липа, клен ясенелистный, тополь, акация желтая, карагач. Сквер «им. Орджоникидзе» (рис. 7б) расположен во дворе дома № 5 по ул. Белинского, между ул. Белинского и ул. Лядова. Через арку дома был виден памятник Серго

Орджоникидзе, стоявший в центре сквера (демонтирован в июле 2016 г.). На территории произрастают в основном клен ясенелистный, желтая акация и другие виды лиственных кустарников и низкорослых деревьев.

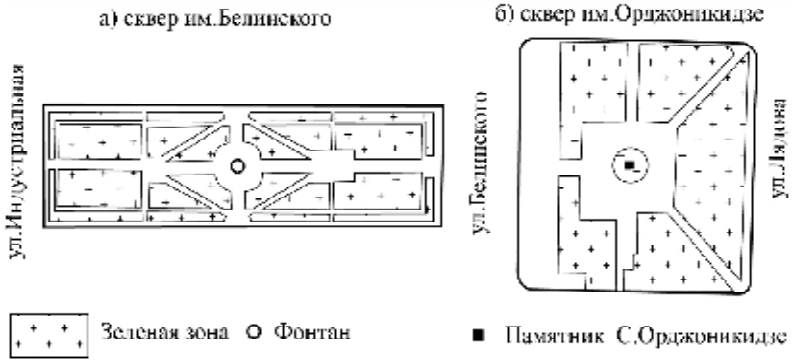


Рис. 7. Скверы микрорайона Соцгород (иллюстрация авторов)

Парк – большой сад для прогулок, с различным оборудованием, предназначенным для отдыха посетителей. Парк «Крылья Советов» основан в 1939 г. Границы парка проходят вдоль улиц Олега Кошевого, Дементьева, Тэцевской и Копылова (рис. 8). Планировочная структура регулярная. Центральная аллея парка – «Аллея Славы», сооруженная в 1957 г. скульпторами И.А. Новосёловым и Н.Я. Васильевым, проходит от центрального входа по ул. Копылова. Вдоль аллеи на постаментах с правой и с левой стороны размещены восемь бюстов крупнейших русских учёных и лётчиков. В центре располагается фонтан, завершает композицию памятник В.И Ленину. В 2004 г. часть территории парка была выкуплена ФК «Рубин». Озеленение территории – цветочные клумбы, рабатки, газон, рядовая посадка деревьев и кустарников, по периметру высажена живая изгородь. Произрастают такие виды растений как клен ясенелистный, тополь, береза, липа, акация желтая [8].

Рис. 8. Парк «Крылья Советов» (иллюстрация авторов)

По степени использования

Проанализировав все существующие пространства, авторами выявлена еще одна категория публичных пространств данного микрорайона, на которые их можно разделить обжитые и «пустоты» (рис. 9). Данный параметр выявляет успешные и популярные пространства, которые используют жители в своей повседневной жизни [9, 10]. Пустующие территории, которым необходимо переосмысление либо возвращение первоначальных функций, заложенных проектировщиками данного микрорайона.

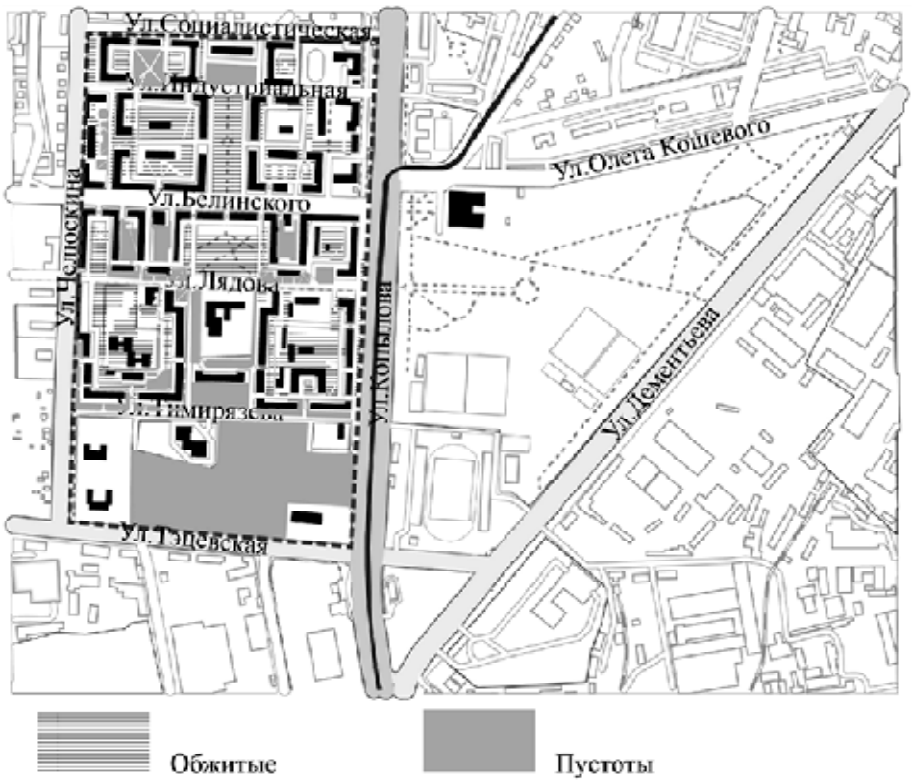


Рис. 9. Классификация пространств по степени использования (иллюстрация авторов)

Большая часть дворовых территорий являются обжитыми и используются в хозяйственных и рекреационных нуждах жителями. К пустующим пространствам относятся заброшенный парк «Детского отдыха», придорожные территории по ул. Лядова и ул. Тимирязева, пустырь по ул. Индустриальная, который может стать продолжением зеленого каркаса уже существующих скверов.

Заключение

Соцгород – микрорайон, построенный в период индустриализации XX в., активного строительства и поиска нового типа жилья для советского человека. Разнообразие внутриквартальных пространств микрорайона, различные планировочные приемы, богатство архитектурных элементов на фасадах домов, большое количество озеленённых территорий – те особенности, которые создают комфортное пространство для жителей и выделяют его среди современных жилых образований.

В данном исследовании выявлены следующие внутриквартальные открытые общественные пространства Соцгорода:

- улицы: бульвар, магистраль, торговая улица, дорога окаймляющая парк, внутрирайонная улица, междомовая улица, внутридворовая улица;

- дворовые пространства: двор, совмещенный с социальными объектами, которые обслуживают микрорайон; замкнутый, скрытый двор от пешеходов, полностью окруженный домами. Служит рекреационным пространством для жителей; общественно-жилой двор совмещает две функции. Пространство поделено между жителями дома и жителями района; публичный двор, доступный для всех, окружён домом с одной стороны;

- площадь: пл. Соцгород;

- зеленые пространства: сквер «им. Белинского» и «им. Орджоникидзе», парк «Крылья советов».

Все данные территории классифицировались по двум параметрам:

- социальное значение, степень и характер использования территории.

Полученные результаты позволяют выявить структуру данного микрорайона, изначально заложенную проектировщиками. Расположение всех зеленых рекреационных пространств, создает между собой систему скверов, которая является зеленым ядром

микрорайона. Функциональное зонирование улиц, разделение людских потоков, отделение пешеходных зон от автомобильных зон с помощью озеленения – все это создает комфортную пешеходную среду, которой не хватает в современном городе. Выявлена особенность системы открытых дворовых пространств, являющейся частью целостного пешеходного каркаса жителей микрорайона. Проходившие политические процессы в стране изменили уклад жизни человека, в связи с этим некоторые территории утратили свою функциональную необходимость и пришли в упадок, став заброшенными и требующими внимания к себе.

Установлено, что на сегодняшний день Соцгород не только культурный и рекреационный центр Авиастроительного района, но привлекает внимание жителей всех районов Казани и гостей столицы. Казанский Соцгород один из немногих прекрасно сохранившихся ансамблей на территории РФ, выполняющий свои первостепенные функции. Для дальнейшего развития Соцгорода необходимо учитывать планировочные особенности данной территории уважая его традиции, культуру и др.

Список библиографических ссылок

1. Петухова Е. И. Архитектура Соцгорода, как объект культурного наследия: европейский опыт и российские перспективы // Управление в современных системах. 2014. № 4. С. 16–26.
2. Саначин С. П. Экскурс в архитектурную жизнь советской Казани. Казань, 2014. 240 с.
3. Меерович М. Г. Градостроительная политика в СССР 1917-1929. М. : Studia urbanica, 2017. 352 с.
4. Меерович М. Г. СССР как мегапроект. Проект № 13. «Соцгород» // Следующий шаг. 2009. № 7/8. С. 76–97.
5. Паченков О. В. Публичное пространство города перед лицом вызовов современности // Новое литературное обозрение. 2012. № 117. С. 67–83.
6. Burden D. Lagerwey P. Road Diets: Fixing the Big Roads. Walkable Communities Inc., Minneapolis, MN : 1999.
7. Полевой В. М. Популярная художественная энциклопедия. М. : Большая Российская энциклопедия, 1986. 880 с.
8. Гришина М. П. Национальные элементы в архитектуре городских садов и парков Казани : сб. ст. научного конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки 2016» / ННГАСУ. Н. Новгород, 2016. С. 432-437.
9. Gehl J., Svarre B. How to Study Public Life : Island Press, 2013. 168p.
10. William H. Whyte. The Social Life Of Small Urban Spaces. Project for Public Spaces; unknown edition. 2001. 125 p.

Gataullina Aida Airatovna
architect
E-mail: aida-gataullina@yandex.ru
LLC «ROBEL GROUP»
The organization address: 420073, Russia, Kazan, Gvardeiskaya st., 33
Novikov Stepan Victorovich
candidate of architecture
E-mail: to-stepa@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Architectural classification of intra-quarter spaces of Kazan Socgorod

Abstract

Problem statement. The aim of the study is to classify the open public and yard spaces of the Socgorod of Kazan.

Results. The main results of the study consist in structuring and identifying the features of the planning organization of the territory of the Socgorod for the further preservation, reconstruction and modern use of the object of cultural heritage.

Conclusions. The significance of the results for architectural science is that they will significantly improve the quality of knowledge and understanding of comfortable neighborhoods and complexes such as Socgorod, which can be used in modern conditions.

Keywords: social city, Socgorod, micro district, yard space, classification of public spaces, public spaces.

References

1. Petukhova E. I., the Architecture of the Socgorod as an object of cultural heritage: the European experience and the Russian prospects // Upravleniye v sovremennykh sistemakh. 2014. № 4. P. 16–26.
2. Sanacin S. P. Insight into the architectural life of the soviet Kazan. Kazan, 2014. 240 p.
3. Meerovich M. G. Urban policy in the USSR 1917-1929. M. : Studia urbanica, 2017. 352 p.
4. Meerovich M. G. The USSR as a megaproject. Project № 13. «Socgorod» // Sleduyushchiy shag. 2009. № 7/8. P. 76–97.
5. Pachenkov O. V. Public space of the city in the face of modern challenges // Novoye literaturnoye obozreniye. № 117. 2012. P. 67–83.
6. Burden D., Lagerwey P. Road Diets: Fixing the Big Roads. Walkable Communities Inc., Minneapolis, MN : 1999.
7. Polevoi B. M. Popular art encyclopedia. M. : Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya, 1986. 880 p.
8. Grishina M. P. National elements in the architecture of urban gardens and parks of Kazan : dig. of art. of scientific congress of international scientific-industrial forum «Great rivers 2016» / NNGASU. N. Novgorod, 2016. P. 432–437.
9. Gehl J., Svarre B. How to Study Public Life : Island Press, 2013. 168 p.
10. William H. Whyte. The Social Life Of Small Urban Spaces. Project for Public Spaces; unknown edition. 2001. 125 p.

УДК 711:72.012.6
Пономарев Евгений Сергеевич
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: ponom_argo@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Ившин Константин Сергеевич
доктор технических наук, профессор
E-mail: ivshic@mail.ru
Удмуртский государственный университет
Адрес организации: 426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1

Проектная стратегия территориального брендинга

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – сформировать комплексную методику территориального брендинга в качестве основной проектной стратегии реорганизации архитектурной среды сложившихся жилых районов в городах.

Результаты. Основные результаты исследования заключаются в разработке основополагающих функциональных этапов формирования целостного контекста городского пространства; в определении градостроительной, архитектурной и средовой составляющей комплексной проектной стратегии территориального брендирования; в обосновании основных качественных параметров; в выявлении социально-правового инструментария осуществления проектной стратегии территориального брендирования.

Выводы. Значимость полученных результатов состоит в новизне подхода к реформированию сложившихся городских пространств, заключающегося в иерархической реорганизации элементов городского пространства, обеспечивающего функционально-визуальную комплексность территории городского района. Использование предложенного подхода позволит сформировать механизм выявления депрессивных территорий города для дальнейшего их преобразования с учетом расположения в общегородской ткани. Проектная стратегия территориального брендинга при этом приобретает инструмент архитектурно-пространственной реорганизации сложившихся районов города, что позволяет рассматривать стратегию реновации российских городов, последовательно включая реконструируемые районы в очередность, учитывая их расположения относительно городского центра.

Ключевые слова: территориальный брендинг, сложившиеся жилые районы города, архитектурно-планировочная реорганизация, пространственная реорганизация.

Введение

Сложившаяся застройка отдельно взятого городского района в зависимости от расположения внутри города имеет свои отличительные особенности. Основными особенностями таких районов являются архитектурно-планировочные и пространственно-средовые характеристики, которые в современных городах, формируют архитектурную разнообразность, средовую уникальность и узнаваемость. При этом жилые районы внутри городов различны по уровню и качеству своего благоустройства. По мере удаления от городского центра, как правило, качество благоустроенных территорий резко снижается. Наряду с показателем снижения качества благоустроенности в большинстве российских городов архитектура жилых районов также различается по мере их удаления от центра. Коренной горожанин по видимым очертаниям окружающей его архитектуры и благоустройства определяет принадлежность территории к определенному району города. Например, обилие типовой панельной застройки указывает на принадлежность данной территории к периферийной зоне города, что вызывает у зрителя ассоциацию со спальным районом. Производственные и коммунальные территории города (имеющие большое количество гаражей, складов, автозаправок) имеют своеобразную архитектуру, однако, как правило, такие территории расположены в серединной зоне города. Архитектура городских центров резко

отличается по разнообразности стилей, разновысотному формообразованию, разнокалиберности масштаба и различности фактур отделочных материалов. Таким образом, у горожан складывается набор образных стереотипов о городских районах, что подтверждает тезис об архитектуре, как о носителе материально-практической и информационно-эстетической ценности [1. С. 96]. Придать каждому городскому району отличительную черту, архитектурное своеобразие – актуальная комплексная задача для развития города, повышения его имиджа и конкурентоспособности. Выполнить поставленную задачу возможно при мультидисциплинарном подходе к созданию оригинального образа каждого городского района с помощью технологии территориального брендирования.

Территориальный брендинг

Обратимся к опыту территориального брендинга городов. Рассмотрим города, которые имеют на сегодняшний день узнаваемый бренд[1]. Нью-Йорк – один из первых городов с опытом территориального брендинга. Знаменитый логотип Мильтона Глейзера, созданный в 1976 году, был частью рекламной кампании, направленной на привлечение туристов [2]. Разработанный логотип в архитектурной среде города не используется, являясь графической визуальной идентификацией (айдентикой[2]) печатаемой на сувенирной продукции. Архитектурное пространство города при этом живет своей жизнью и не является элементом комплексной стратегии территориального брендинга, несмотря на то, что архитектурный язык американских городов достаточно разнообразен – от центральных районов с высотной застройкой к одноэтажной застройке периферийных. Положительным примером территориального брендинга за рубежом является разработанная дизайн-агенством Landor айдентика города Мельбурн, которая является вариативной и активно учувствует в оформлении визуально-воспринимаемой среды города [3]. Архитектура здесь используется в качестве поверхности для нанесения разработанных графических решений в виде принтов, баннеров, инсталляций, паттернов. Среди отечественных городов с опытом территориального брендирования выделяется Пермь[3], где минимализм айдентики работает в архитектурно-средовом исполнении особенно активно благодаря лаконичности и лапидарности. Масштаб применяемых инсталляций, согласно концепции территориального бренда Перми, вполне архитектурный. Богатый опыт внедрения метода фирменного стиля в российские города рассматривается в контексте собирательного образа при благоустройстве улиц городов [4]. Несмотря на активную позицию современного городского сообщества в вопросах реновации визуального облика городских районов, необходимые архитектурные решения по вопросам реорганизации сложившихся городских районов на сегодняшний день не рассматриваются как основополагающие для реабилитации их визуальной среды.

Полувековой зарубежный и отечественный опыт территориального брендирования выявил методические проблемы его применения. Во-первых, не используются возможности архитектурных преобразований в качестве опорных решений для повышения качества городской среды и формирования полноценного благоустройства улиц. Во-вторых, в большинстве российских городов произошла стихийная дифференциация архитектурной среды внутри районов по степени их удаленности от центра. Таким образом, архитектурный контекст, при средовой реорганизации городских районов, сегодня не учитывается. Следовательно, при реорганизации депрессивных районов города необходимо выявление их потенциальных возможностей для принятия архитектурных решений в комплексе с визуализированием пространственно-средовых особенностей жилого района с помощью проектной стратегии территориального брендинга.

[1]«Бренд» от англ. brand – клеймо. Образ, ассоциирующийся с конкретным объектом, продуктом, возникающим в сознании целевой аудитории.

[2]Сокращенное слово от английского словосочетания «corporate identity», обозначающее «фирменный стиль» компании. С конца XX в. активно используется в рамках проектной стратегии территориального брендинга городов.

[3]Логотип города Пермь разработан студией Артемия Лебедева https://www.artlebedev.ru/perm/logo/.

Архитектурно-планировочный контекст жилых районов города

Планировочные решения застройки городских территорий не отличаются разнообразием. Исторически сложившиеся центры городов имеют квартальную застройку. Кварталы, ограниченные улицами, имеют размер в плане примерно 200×200 м, геометрическая вариативность которых колеблется в пределах трапециевидных форм. Срединные и периферийные территории городов в основном застроены по принципу создания микрорайонов, разделенных бульварами. Смежные микрорайоны объединяются в более крупные жилые единицы – жилые районы с сеткой улиц, примерно 500×500 м. Большая часть таких территорий в российских городах застраивалась в период XX в. Такая застройка выполнена по принципу свободной планировки и имеет, как ряд преимуществ перед исторической квартальной застройкой, так и свои ряд недостатков. Среди преимуществ можно выделить достаточно просторные дворовые территории и открытые пространства. Среди недостатков следует отметить трудность межевания таких районов, поскольку отсутствуют четкие границы между собственниками, отдельных групп домов. Среди архитектурно-планировочных решений современных российских городов характерно наличие проспектов, разделяющих жилые районы наряду с улицами. Такие градообразующие решения по формированию транспортного каркаса городов распространены по всей территории России.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что архитектурно-планировочные принципы организации территорий большинства российских городов идентичны.

Идентификация городских пространств

Архитектура городских пространств является опорным каркасом для создания уникальной городской среды [5]. Сложившаяся архитектура городских районов формирует определенные зрительные ассоциации, связанные с идентификацией городской территории. При этом следует учитывать то, что городские районы резко различаются по таким параметрам как социальные условия проживания, насыщение инфраструктурой, благоустроенность территории. Социально-значимые места пребывания в городе характеризуются высокой частотой плотностью горожан, их посещающих и интенсивностью. Это центральные площади городов, парки культуры и отдыха, набережные прилегающих водоемов. Особое внимание администрации к таким территориям повышает их комфортабельность для посещения. Однако, основная часть городов – это депрессивные социальные районы с монотонной и унылой архитектурой. Таким образом, существует сложившаяся застройка, на основе которой складывается архитектурно-средовая разнородность городских районов. В совокупности сумма разных частей города представляет собой имидж всего города в целом. Большая часть таких городских территорий носит негативный оттенок и требует своего ребрендинга. Депрессивные районы города, обладающие отрицательной ликвидностью – общая проблема для всех городов России. Такие районы, при постоянном росте социальной напряженности, взрывоопасны по своему менталитету. Неблагонадежное население, как правило, усугубляет картину, концентрируя социальную напряженность подобных городских районов. Архитектурная среда здесь выступает в роли социального конструктора [6]. Архитектурное наполнение городов определяет менталитет горожанина и формирует стиль городской жизни. «Стиль жизни – это непосредственное взаимодействие людей с городскими условиями, выражающее то, что конструируют границы внутри города, расчленяет его и наполняет символами и ассоциациями» [7. С. 41].

Стилистика жизни горожан определяется архитектурно-пространственной визуализацией. Визуальная среда, формируемая архитектурой, способствует осмысленному выбору жизни в городе большинством населения стран. Свободный выбор формы занятости и разнообразие досугового времяпровождения – главные отличительные поведенческие черты, присущие горожанам. Именно архитектурный контекст определяет перспективы развития жизненной среды районов города. Монотонность и унылость архитектуры прямо коррелируется с однообразным поведением жителя периферийных спальных районов. Фрагментированность коммунальных и промышленных территорий воспринимается горожанами в качестве зон

для временного пребывания, отчуждая такие территории от городской жизни. Центры городов, напротив, позволяют людям разнообразить досуг. Здесь различная архитектура меняет визуальный контекст города в пространстве, что релаксирует зрителя, создавая положительные эмоции психовосприятия. Стилистическая разнородность и наслоение архитектуры различных временных периодов позитивно отражается на человеческой психике и притягивает горожан, вызывая их интерес.

Городской социум не однороден. Город в качестве культурно-сегрегированного образования территориально фрагментирован. Примеры национальных кварталов европейских и американских городов. Чересполосица территорий различного социального статуса. Складывается психологическое отношение жителей к определенной территории. Зрительно горожанин явно различает визуальную разницу между архитектурой разных городских районов по их культурному коду. Традиционные этнические особенности проживающих – проектно-визуальный потенциал культурного аспекта территориального ребрендинга на основе архитектурных решений. Учет необходимости внедрения архитектурных особенностей городского района, исходя из традиционно-культурной ориентации, наполняющих его жителей – механизм формирования неоднородности стилей городской жизни. Таким образом, архитектура выступает в качестве конструктора социального поведения, и рассматривается в качестве неотъемлемой части механизма территориального брендирования. Город является вместилищем достижений человеческой цивилизации. Архитектура города в качестве основного каркаса жизненного пространства городов накапливает результаты жизнедеятельности цивилизации и является развивающей и воспитательной средой. Таким образом, именно архитектура, в качестве основного визуального фона, раскрывает позитивный потенциал человеческой натуры. Фрагментация городской территории по социальной статусности прямо коррелируется с архитектурными параметрами данной территории города. Жилые районы, микрорайоны, застроенные «социальным жильем», в понимании российского законодательства обладают вполне конкретными архитектурными характеристиками. А именно – типовое жилье, низкозатратное благоустройство, минимальный средовой дизайн. Центральные, элитные городские районы обладают резко отличающимися архитектурно-средовыми характеристиками – выразительной архитектурой, комфортной благоустроенной средой с наличием обильной инфраструктуры. Такое наполнение городского района отражает высокий социальный потенциал жизненного пространства. Архитектура при этом провоцирует поведенческие функции горожанина такими параметрами, как деталировка и качество исполнения, креативность формообразования и применяемая фактура архитектурных поверхностей. Воздействуя на эмоции и органы чувств человека, архитектурный язык цитирует культурный кодекс поведения и воспитания человеческой натуры. Архитектура, как «пассивная ценность общества» [5], обладает воспитательными визуальными свойствами. Таким образом, степень социально-культурного уровня городского сообщества отражается в архитектурном языке исполнительского мастерства.

Проектная стратегия территориального брендинга

Благоустройство жилых районов – популярная сегодня тема, активно разрабатываемая таким направлением развития городской среды, как урбанистика [8]. Совокупность различных подходов и мнений по поводу развития городской среды сегодня выработала общую стратегию приоритета пешеходного движения в городе[4], устройства безбарьерной среды и максимальной экологической составляющей в широком диапазоне своего применения (озеленение, сортировка отходов, водоотведение). Горизонтальная поверхность городского пространства является актуальным объектом реконструкции. Архитектурно-средовой подход к формированию полноценной среды жизнедеятельности горожан предполагает благоустройство городов. Дифференциация пешеходно-транспортных потоков при возрастающем дорожном трафике, увеличение

[4]Ахметшина Л.А., Айдарова Г.Н. Особенности формирования архитектурной среды пешеходных улиц периферийных («спальных») районов на примере г. Казани // Известия КГАСУ. 2019. № 2 (48). С. 117–127.

количества альтернативных транспортных средств, являются возрастающей нагрузкой на горизонтальную поверхность городов. Также возрастающая плотность населения городских районов усугубляет полноценное функционирование и требует переформатирования архитектурных решений, применявшихся ранее повсеместно. При таком количестве городских проблем вопросы актуальности экспонирования архитектурного языка нивелируются. Однако комплексным подходом к формированию новой застройки или реорганизацией сложившихся территорий может считаться только использование полного функционала архитектурных решений. Архитектурный язык при этом является таким же полноправным предметом воздействия на оздоровление пространственной среды городских районов, как и функциональные принципы. Глубинно-пространственная композиция городского интерьера обеспечивается в первую очередь архитектурно-планировочными решениями. Затем, после формирования, созданного архитектурными средствами, визуально-планировочного каркаса наступает этап наполнения пространства компонентами благоустройства. Однако при комплексном подходе вопросы благоустройства и архитектурной реконструкции решаются параллельно.

Проектная стратегия территориального брендинга городских районов представлена в таблице. Поэтапное осуществление мероприятий по реализации обновления сложившихся территорий повысит их инвестиционную привлекательность. Экономический потенциал городских районов при этом повысится, что отразится на таких показателях как цена $м^2$ жилья в данном районе. Таким образом, оценка экономической эффективности проектной стратегии территориального брендинга может производиться по измерительной шкале, учитывая рост стоимости жилой площади в городском районе, где она осуществляется.

Таблица

Проектная стратегия территориального брендинга городского района

Функциональные этапы формирования проектной стратегии	**Составные элементы комплексного проектного подхода**	**Показатели и единицы измерения**
Градостроительный	Удаленность территории	центр – периферия
	Композиционный рисунок застройки	плотность заселения, этажность
	Модульность жилых единиц	квартал, микрорайон, ИЖФ
Архитектурный	Архитектурные стили	количественное перечисление сложившейся архитектурной стилистики
	Городской силуэт	определение доминант и визуальных направлений – запоминающаяся неровность границы между застройкой и небом
	Архитектурный ландшафт	выявление разноярусности по количеству вертикальных членений
	Архитектурная выразительность	высотность и многоярусность застройки
Средовой	Благоустройство	наличие безбарьерной среды и приоритета пешеходного движения в отношении площади благоустроенного покрытия автомобилей/пешеходы
	Традиционно-культурные особенности	процентная разнородность жителей района по социальному статусу, культурным особенностям и возрастной категории
	Городская айдентика	наличие фирменного стиля района, отраженного в оформлении вертикальных поверхностей и цвето-световых решениях

Ребрендинг городских пространств на основе архитектурно-средовой реконструкции предлагает богатый инструментарий для комплексного решения реорганизации сложившихся районов города. Например, поэтажная реконструкция типовых советских серий объектов жилого фонда в спальных районах (включая надстройки над пятиэтажными сериями типовых домов и понижение этажности девятиэтажных домов), выведение из жилого фонда первых этажей жилых зданий для формирования общественных пространств и преобразования визуально-эстетического облика первых этажей, архитектурные решения по ликвидации мертвых пространств между глухими торцами зданий, обязательное использование подземного пространства города, реструктурирование микрорайона как планировочной единицы жилого района города посредством размельчения его планировочной сетки.

Тема реорганизации городских районов тесно связана с социальной активностью горожан, что сегодня является важным фактором повышения качества архитектурной среды: ТСЖ, активный коллектив жилого дома, менеджеры домов, способны достичь в приватной домовой территории благоустроенности. Развивается социально-адаптивное проектирование городской среды [8]. Различные районы города получают при таком подходе равные стартовые возможности. Возрастает конкуренция между жителями городских районов по созданию лучших условий проживания. Экономический аспект развития архитектурно-пространственной среды жилых районов города при этом находится в руках его жителей. Интенсивность жизнедеятельности районов при этом коррелируется с социальной активностью. Вектор архитектурного развития жилого района с экономической точки зрения рассматривается как привлечение инвестиций для поддержания и эксплуатация принятых архитектурных решений. Продвижение политики городского маркетинга [9] в связи с социальной активностью жителей районов города позволит получить дополнительную профессию архитекторов-юристов, и увеличить рабочие места урбанистов, дизайнеров и ландшафтных архитекторов. В связи с перманентной экономической затратностью на обслуживание любого городского района вопрос инженерного обеспечения со временем обострится. На городском уровне задачи повышения эффективности, энергоемкости, будут инициироваться жителями этих районов. В этой связи вопросы актуальности применения стратегии территориального брендинга станет ключевым. Районы с высокими показателями организации визуально-пространственной среды [10] обладают определенной экономической устойчивостью, так как формируют представление городского района в качестве «дома» для его жителей.

Заключение

Предлагаемая совокупность использования архитектурно-средовых принципов реорганизации городских территорий представляет собой комплексную проектную стратегию брендирования городских пространств. Такая комплексность обеспечивается функциональными этапами формирования проектной стратегии. Архитектурный этап последовательного выполнения предлагаемой проектной стратегии территориального брендинга сделает возможным формирование полноценной городской среды в условиях сложившихся районов на основе анализа и применения архитектурной реконструкции. Основа формирования территориального бренда представляет собой концептуальную модель, определяющую структурно отраженные функции, и их количественные показатели.

Взаимосвязь элементов системы территориального брендинга накладывается на архитектурную основу, следовательно, в первую очередь задачей территориального брендирования является пересмотр архитектурных решений данного района. Для создания бренда необходима целостная проектная стратегия создания архитектурного образа. Она заключается в формировании концепта брендируемой территории города и реорганизации ее архитектурно-средовых решений. Создание архитектурного контекста территории городского района создаст визуальной фон для психофизиологической разгрузки зрителя и определит первый этап создания территориального бренда.

Список библиографических ссылок

1. Чапля Т. В. Язык архитектурных форм // Идеи и идеалы. 2016. № 3. Т. 2. С. 96–103.
2. Милтон Глейзер – живая легенда дизайна // vltramarine.ru : онлайн-издание. 2005. URL: http://www.vltramarine.ru/mag/design/graphic/151 (дата обращения: 20.04.2019).
3. Кирилл Олейниченко 9 примеров впечатляющего городского брендинга // awdee.ru : издание для графических дизайнеров. 2019. URL: https://awdee.ru/9-city-branding-examples/ (дата обращения: 01.04.2019).
4. Михайлов С. М. Метод фирменных стилей в дизайне города (опыт проектных семинаров Союза Дизайнеров России) // Вестник ОГУ. № 9 (145). С. 47–52.
5. Иванова В. В., Зыкова М. А. Городская архитектура как способ конструирования и деконструирования социальных практик горожан // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17. № 2. С. 150–159.
6. Палий И. Г. отражение пространства и времени в социокультурных мирах городской архитектуры // dom-hors.ru : международное научное издательство. 2005 // Выпуск №10, 2017 Общество: философия, история, культура. URL: https://doi.org/10.24158/fik.2017.10.14 (дата обращения: 25.10.2019).
7. Буртонова В. Н. Стиль жизни горожанина как социальный механизм конструирования городских границ // Власть. 2017. Том. 25. № 12. С. 38–42.
8. Manzini E. Design, when everybody designs. An introduction to design for social innovation. Cambridge, MA : MIT Press, 2015.
9. Wirth L. Urbanism as a way of life // American j. of sociology. 1938. Vol. 44. P. 1–24.
10. George Nelson. Problems of design. New York : Whiney Library of Design, Division, 1957. 208 p.

Ponomarev Evgeny Sergeevich
candidate of architecture, associate professor
E-mail: ponom_argo@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Ivshin Konstantin Sergeevich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: ivshic@mail.ru
Udmurt State University
The organization address: 426034, Russia, Izhevsk, Universitetskaya st., 1

Territorial branding project strategy

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the main properties of the language of architectural forms as the main tool of territorial branding.

Results. The main results of the study are the use of the fundamental characteristics of the architectural language in the formation of the figurative-branded context of urban space; the definition of an architectural language as a supporting frame of the visually perceived environment of the city; identifying the architectural language as the key to the implementation of the design strategy for territorial branding.

Conclusions. The significance of the results for architecture lies in the novelty of the approach to the formation of a unique image of existing urban spaces, which consists in interpreting architectural forms as a visually perceptible language that tells the viewer the original qualities of the territory of the city district. Using an architectural language as a syntactic reflection will provide a mechanism for communicating urban space with the viewer. The project strategy of territorial branding, at the same time, acquires an instrument of architectural and spatial reorganization, which allows us to comprehensively consider the process of environmental renovation of the existing districts of Russian cities.

Keywords: architectural language, territorial branding, identity, the image of the city, the prevailing visual-perceived environment of residential areas.

References

1. Chaplya T. V. Language of architectural forms // Idei i idealy. 2016. № 3. T. 2. P. 96–103.
2. Milton Glaser – a living design legend // vltramarine.ru: online publication. 2005. URL: http://www.vltramarine.ru/mag/design/graphic/151 (reference date: 20.04.2019).
3. Kirill Oleinichenko 9 examples of impressive urban branding // awdee.ru: publication for graphic designers. 2019. URL: https://awdee.ru/9-city-branding-examples/ (reference date: 04.01.2019).
4. Mikhailov S. M. The corporate identity method in city design (the experience of design seminars of the Union of Designers of Russia) // Vestnik OGU. 2012. № 9 (145). P. 47–52.
5. Ivanova V. V., Zykova M. A. Urban architecture as a way of constructing and deconstructing the social practices of citizens // Mir ekonomiki i upravleniya. 2017. Vol. 17. № 2. P. 150–159.
6. Paly I. G. reflection of space and time in the sociocultural worlds of urban architecture // dom-hors.ru: international scientific publishing house. 2005. Issue № 10, 2017 Society: philosophy, history, culture. URL: https://doi.org/10.24158/fik.2017.10.14 (reference date: 10.25.2019).
7. Burtonova V. N. Lifestyle of a city dweller as a social mechanism for the construction of urban borders // Vlast. 2017. Vol. 25. № 12. P. 38–42
8. Manzini E. Design, when everybody designs. An introduction to design for social innovation. Cambridge, MA : MIT Press, 2015.
9. Wirth L. Urbanism as a way of life // American j of sociology. 1938. Vol. 44. P. 1–24.
10. George Nelson. Problems of design. New York : Whiney Library of Design, Division, 1957. 208 p.

УДК 721.012.22
Рачкова Ольга Георгиевна
старший преподаватель
E-mail: olga.ra4kova@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, Казань, ул. Зеленая, д. 1
Денисова Екатерина Дмитриевна
архитектор
E-mail: rina.denisova1995@yandex.ru
Казанский ГипроНИИавиапром
Адрес организации: 420127, Россия, Казань, ул. Дементьева, д. 1

Решение задач проектирования жилых комплексов при реновации территорий с застройкой 70-х годов в г. Москве

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является исследование возможности использования отраженного солнечного излучения, от поверхностей зданий, для обеспечения нормативных значений инсоляции и санации жилых комнат квартир, при проектировании плотной застройки в условиях реновации территорий.

Результаты. На основе проведенного исследования и экспериментального проектирования выполнен генеральный план территории реновации, с включением в него компактного жилого комплекса, нормативное обеспечение инсоляцией жилых комнат которого было достигнуто не только за счет прямого солнечного света, но и ранее не учитывающегося в расчетах, отраженного от поверхностей противоположных фасадов.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в проектировании компактного жилого комплекса переменной этажности, имеющего современный силуэт и обогащающего плотную застройку, при решении генплана на территории, предназначенной для реновации, с возможностью получения нормируемой инсоляции жилых помещений квартир комплекса за счет новой методики расчета, учитывающей не только прямые, но и отраженные лучи от специальных отражающих поверхностей фасадов.

Ключевые слова: жилой комплекс, реновация территорий, плотная застройка, инсоляция, санация помещений, отраженный солнечный свет.

Введение

Реновация территорий с жилой застройкой 60-70-х годов особенно интенсивно осуществляется в г. Москве [1].

Для этой цели в 2017 году были определены первые экспериментальные площадки в районах Головинский, Хорошово-Мневники, Проспект Вернардского, Царицыно, Кузьминки.

Снос существующего жилого фонда 70-х годов XX в. обусловлен частично ветхостью зданий и особенно большим моральным износом. Площади квартир принимались в соответствии с нормами СНиП того периода. Функциональное зонирование квартир было неудовлетворительно, в них не выделялась активная и тихая, приватная зона. В старой застройке не обеспечены мероприятия для маломобильных групп населения, отсутствуют пандусы и лифтовое оборудование, не решены входные группы (тамбуры, вестибюль, колясочные и т.д.).

В решении генпланов присутствует однообразная строчная застройка с меридианальной ориентацией и средней этажностью (5 этажей) жилых зданий. Не четко выделены красные линии застройки улиц. Дворовые пространства неблагоустроенны, отсутствуют автопарковки.

Такое использование территории города является экономически нецелесообразным.

Анализ территории предназначенной для реновации и решение генплана

Для исследования и экспериментального проектирования, был выбран район Кузьминки, расположенный в юго-восточном округе Москвы. Площадка, предназначенная для реновации, составляет 109,6 га, под снос определены 200 домов, с населением более 60 тысяч человек.

Предпроектные исследования выбранной территории, проводились с учетом сносимых зданий и сохраняемой застройки. Анализ полученных материалов подтвердил наличие всех вышеперечисленных недостатков, характерных для территорий, предназначенных для реновации.

К положительным характеристикам можно отнести хорошее обеспечение транспортом (наличие метро, автобусные маршруты), в перспективе запланировано строительство легкого метро.

Одной из задач реновации является проектирование генплана территории с более плотной, экономически целесообразной застройкой, имеющей разную этажность (6-20 эт.), и решением вопросов общественных зон, внутриквартальных и дворовых пространств.

Для проектирования генплана был рассмотрен поисковый ряд плотного взаимного расположения жилых зданий, с возможностью использования южных и юго-восточных фасадов зданий, для отражения солнечного света на мало освещенные северные поверхности домов (рис. 1), так как из-за ориентации территории фасады зданий могут быть выходить на север [2, 3].

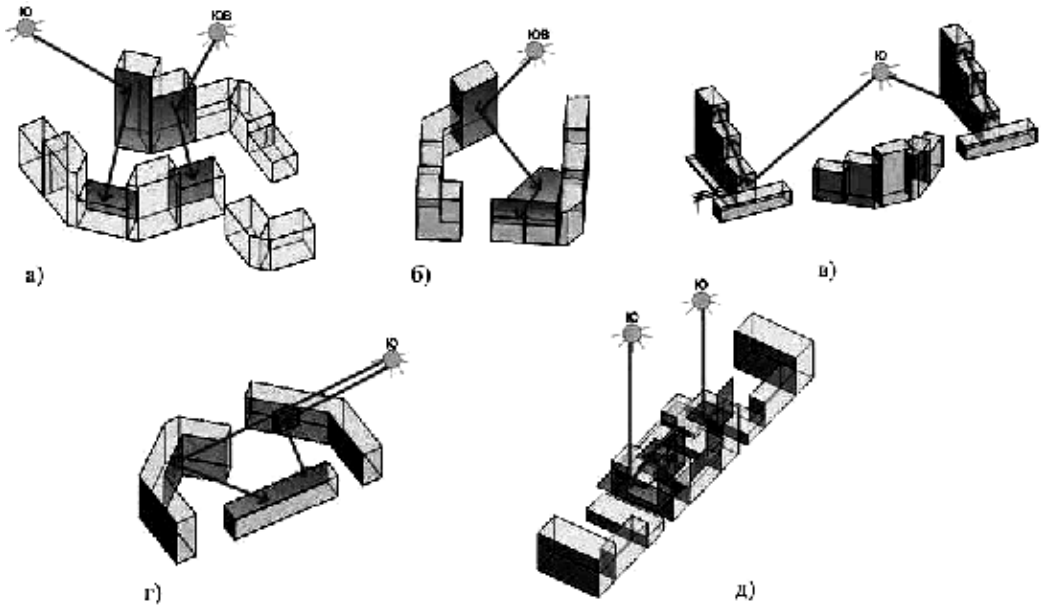


Рис. 1. Поисковый ряд расположения зданий с возможностью направления отраженного света на затененные фасады: варианты (иллюстрация авторов)

Проектное предложение решения генплана микрорайона сформировано с учетом четкого деления территории на кварталы, с благоустройством дворовых пространств и делением на две части обширной общественной зоны, где будут располагаться офисные, торговые, зрелищные и другие общественные здания. В центре кварталов размещены образовательные центры (школы, детские сады), спортивные сооружения (рис. 2).

В процессе экспериментального проектирования в состав генплана был включен компактный жилой комплекс, состоящий из двух секционных жилых блоков, переменной этажности, и пристроенного двухэтажного стилобата, предназначенного для размещения общественных функций. Такое решение объемно-пространственной композиции жилого комплекса позволило обеспечить освещенность дворовой территории и нижних этажей секций (рис. 3) [4-6].

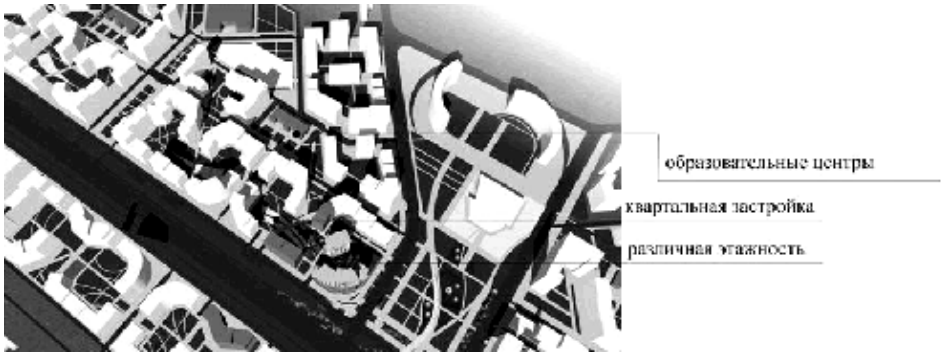


Рис. 2. Проектное предложение решения генплана для территории реновации. Фрагмент квартальной застройки (иллюстрация авторов)

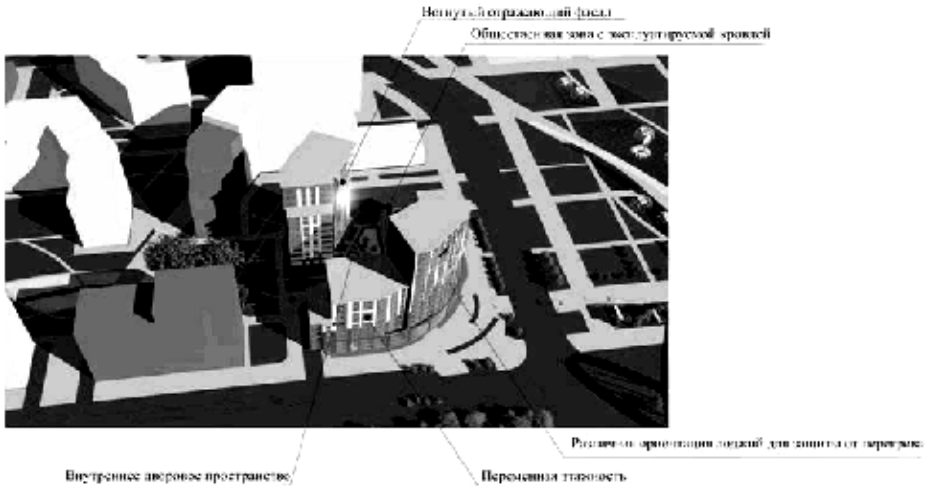


Рис. 3. Общий вид компактного жилого комплекса (проектное предложение) (иллюстрация авторов)

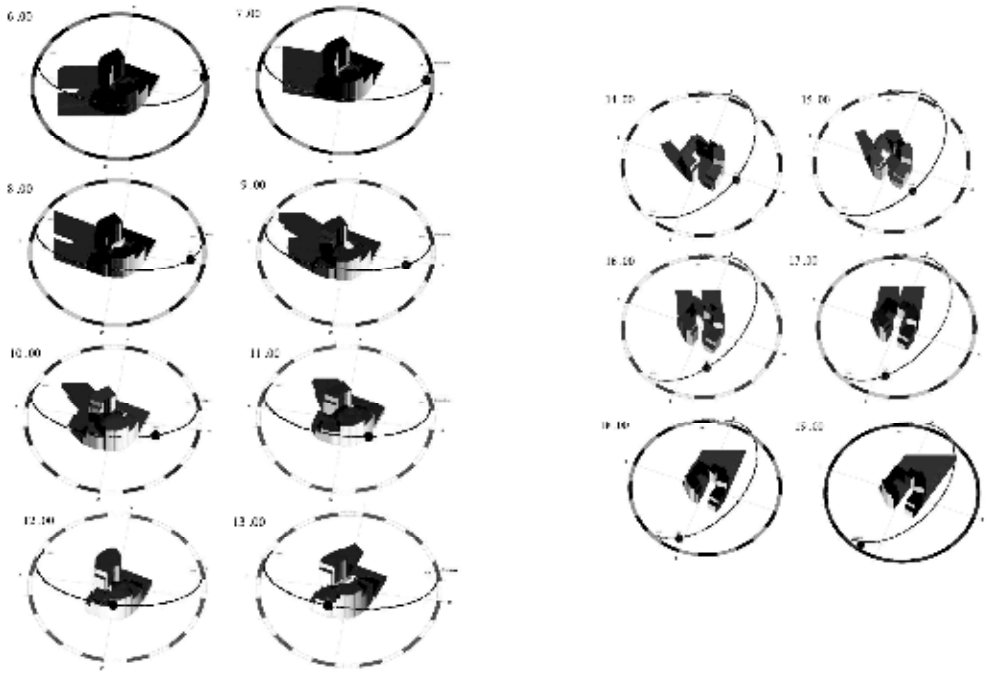


Рис. 4. Схемы с освещением солнцем жилого комплекса и теней, отбрасываемых от него, в период с 6 до19 часов 22 апреля (иллюстрация авторов)

При поиске формы комплекса были построены схемы, с освещенностью объекта солнцем на каждый час с 6 до 19 часов, и отбрасываемых от него теней (рис. 4). В результате анализа этих схем были выявлены наиболее проблемные, с точки зрения инсоляции, участки фасада с окнами жилых комнат [6].

Расчет инсоляции двухкомнатной квартиры

После анализа полученных схем был выполнен расчет инсоляции двухкомнатной квартиры (3 этаж), на соответствие ее нормам СанПин и обеспеченности жилых комнат требуемой дозой радиации (рис. 5).

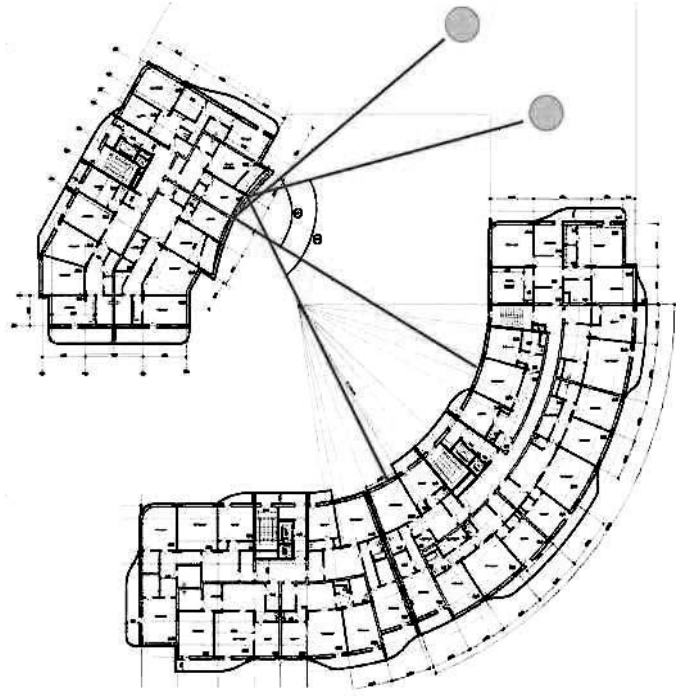


Рис. 5. Расположение отражающей поверхности на жилой секции (иллюстрация авторов)

В программе СИТИС СОЛЯРИС был выполнен расчет инсоляции двух комнат, выходящих на запад, и имеющих размеры – высота окон 2,3 м, ширина 2,1 м – у гостиной и 1,8 м – у спальни. В расчете учитывались координаты местности и дата расчета (22 апреля). Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчет инсоляции двухкомнатной квартиры

№ окна	Этаж	Непрерывная	%	Суммарная	%
1 гостиная	3	1 ч. 39 мин	110,0	1 ч. 39 мин	82,50
2 спальня	3	1 ч. 51 мин	123,33	1 ч. 51 мин	92,50

В квартире инсолируются две комнаты, поэтому норму инсоляции 2 часа можно снизить до 1,5 часов, в соответствии с требованиями СанПин 2.2.1/2.1.1.1076-01 (с изменениями 10.04.2017). Далее было проверено, достаточно ли облучения в течение 1 ч. 39 мин. для санации жилых помещений.

Для оценки эффективности инсоляции жилых комнат, был выполнен расчет инсоляции энергетическим методом, при котором учитывались координаты солнца на определенный месяц и час суток, интенсивность излучения на перпендикулярную поверхность, значения рассеянного излучения, угол между направлением солнечного луча и нормалью к плоскости окна и светотехнические характеристики отделочных материалов.

Было выбрано помещение гостиной, шириной В = 4,3 м, глубиной L = 5,1 м и Н = 3,0 м. Параметры окна – ширина 2,3 м, h = 2,1 м, конструкция окна – однокамерный стеклопакет из силикатного стекла.

По градостроительным параметрам застройки был определен азимут нормали к плоскости окна А = 90°, и координаты солнца, начиная с середины периода облучения (на 16 ч. 50 мин.) – h_o=16,7°, A_o=82,8° от направления на юг.

По параметрам $A_н$, h_o и A_o был вычислен угол между направлением луча и нормалью к плоскости окна (θ), с использованием формул сферической тригонометрии (рис. 6).

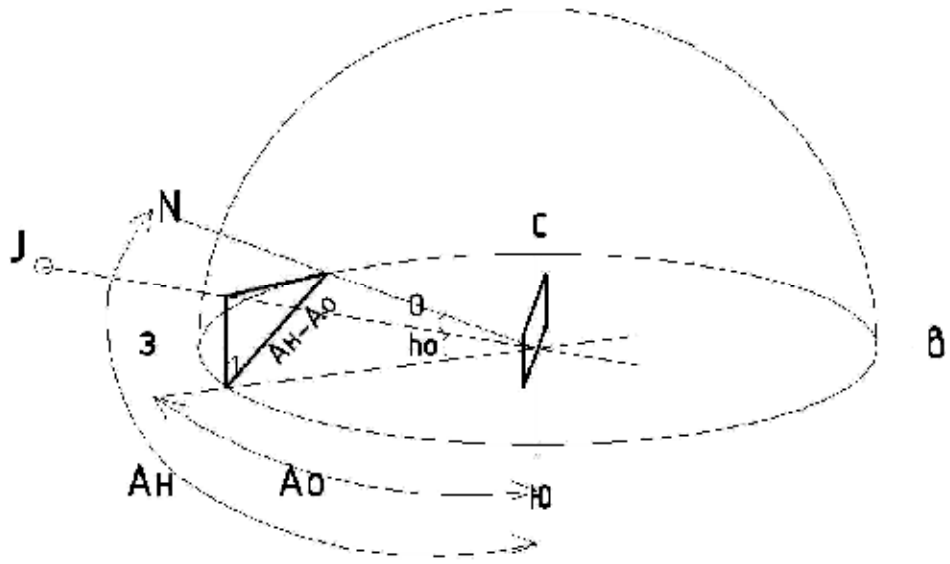


Рис. 6. Схема к определению угла θ (иллюстрация авторов)

$$\theta = \sqrt{h_0^2 + (A_0 - A_н)^2} = \sqrt{16{,}7^2 + (110 - 82{,}8)^2} = 31{,}92°.$$

Интенсивность прямой УФ-радиации в расчете составила $J^{\perp}$ = 3 мВт/м^2, а рассеянная на вертикальную поверхность $0{,}5 \cdot J_{рас} = 0{,}5 \cdot 66 = 33$ мВт/м^2.

Интенсивность прямой УФ-радиации на вертикальные поверхности корректируется углом θ:

$$J_{пр} = J^{\perp} \cdot \cos\theta = 3 \cdot \cos 31{,}9 = 3 \cdot 0{,}88 = 2{,}64 \text{ мВт/м}^2.$$

Суммарная интенсивность УФ-радиации перед фасадом составила:

$$J_{сум} = J_{пр} + 0{,}5 \cdot J_{рас} = 2{,}64 + 33 = 35{,}64 \text{ мВт/м}^2.$$

Значение УФ-радиации в помещении $J_{пом}$, после прохождения через стеклопакет, с учетом прозрачности стеклопакета $k_{сп}$ = 0,27:

$$J_{пом} = J_{сум} \cdot k_{сп} = 35{,}64 \cdot 0{,}27 = 9{,}6 \text{ мВт/м}^2.$$

Полное количество УФ-энергии Q, прошедшее через площадь окна S в помещение:

$$Q = J_{пом} \cdot S = 9{,}6 \cdot (2{,}3 \cdot 2{,}1) = 46{,}36 \text{ мВт},$$

где S – площадь окна шириной 2,3 м и высотой 2,1 м.

Доза УФ-радиации при облучении $\Delta_В$, полученная воздухом помещения, с объемом $V = 5{,}1 \cdot 4{,}3 \cdot 3 = 65{,}7$ м^3, в течение τ = 1,85 часа составила:

$$\Delta_в = 3{,}6 \cdot \theta \cdot \tau / V = 3{,}6 \cdot 46{,}36 \cdot 1{,}85 / 65{,}7 = 4{,}69 \text{ Дж/м}^3,$$

что ниже нормативного значения – 39 Дж/м^3.

Доза облучения, полученная поверхностями помещения $\Delta_П$ в течение 1,85 часа, составила:

$$\Delta_п = 3{,}6 \cdot \theta \cdot \tau / F = 3{,}6 \cdot 46{,}36 \cdot 1{,}85 / 94{,}86 = 3{,}24 \text{ Дж/м}^3,$$

что также ниже нормативного значения показателя – 15 Дж/м^2.

Обеспечение условий инсоляции и санации помещений за счет использования отраженного солнечного излучения от фасадов

Расчет инсоляции двухкомнатной квартиры показал, что количество солнечной энергии, проходящее через оконный проем одной из комнат, имеющей западную ориентацию, не удовлетворяет нормативным требованиям санации воздушной среды и поверхностей стен. Однако в здании имеются фасады, ориентированные на южную и юго-западную стороны. Солнечная энергия, попадающая на эти фасады, может быть перенаправлена за счет отражающих поверхностей, на затененные, расположенные напротив, недополучающие необходимой солнечной энергии, участки здания [7-10].

С этой целью была разработана новая методика расчета инсоляции с учетом отраженной солнечной энергии, а на объемно-пространственной композиции жилого комплекса было найдено местоположение отражающей поверхности (рис. 7).

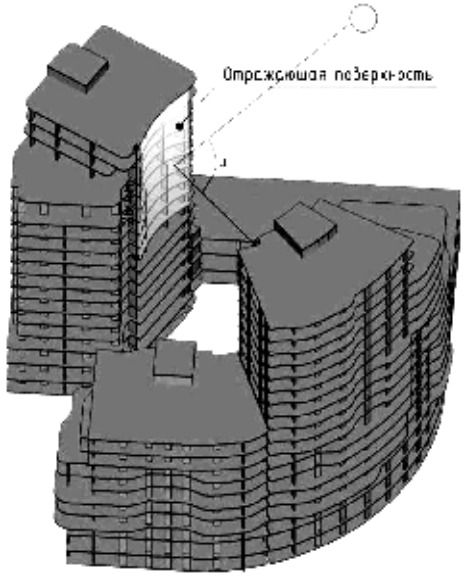


Рис. 7. Объемно-пространственная схема здания
с расположением отражающей поверхности на противоположном фасаде (иллюстрация авторов)

В соответствии с данной методикой длина отраженного солнечного излучения l определяется по формуле:

$$l = f \cdot \operatorname{ctg} \alpha,$$

где α – высота стояния солнца в каждый в каждый час суток 22 апреля, f – высота отражающей плоскости на здании в м:

$l = 26{,}4 \cdot \operatorname{ctg} 44 = 27{,}3$ м – 12.00 часов дня;
$l = 26{,}4 \cdot \operatorname{ctg} 42{,}5 = 28{,}8$ м – 11.00 и 13.00 час. дня;
$l = 26{,}4 \cdot \operatorname{ctg} 38{,}3 = 33{,}5$ м – 10.00 и 14.00 час. дня;
$l = 26{,}4 \cdot \operatorname{ctg} 32{,}2 = 41{,}9$ м – 9.00 и 15.00 час. дня.

По длине отраженного солнечного излучения, можно определить минимальное расстояние между секциями жилого дома, при котором солнечный свет будет отражаться, и попадать на противоположенный фасад. В данном случае это составило 30-40 м.

Энергетические параметры отраженного солнечного излучения зависят от светотехнических характеристик отделочных материалов, используемых на фасадах, поэтому необходимо, чтобы видимый спектр отраженной энергии солнечного излучения максимально сохранял свой спектральный состав, после отражения, в видимом и УФ-спектре для обеспечения общего оздоровительного и санирующего действия. Отраженное излучение зависит также от коэффициента остекления $f_{ост}$.

Была разработана схема с направлениями солнечных лучей в каждый час суток 22 апреля и 22 июля от мест установки отражающих панелей на противоположенном фасаде (рис. 8).

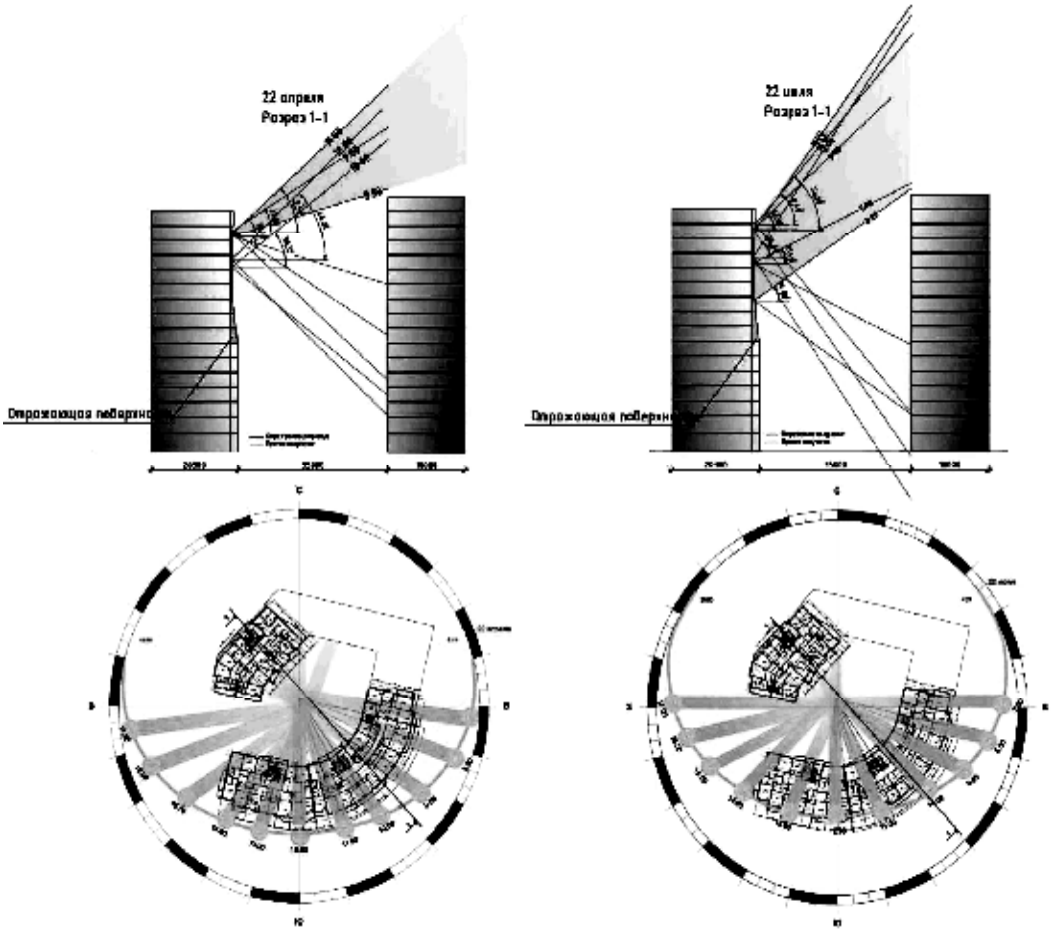


Рис. 8. Схемы с направлением солнечных лучей по часам суток: а) 22 апреля; б) 22 июля (иллюстрация авторов)

Энергетическая освещенность отраженного излучения определялась по формуле, как пример, на 12 часов 22 апреля:

$$E_{от} = E_{фн} \cdot К_{от} \cdot f_{ост},$$

$$E_{отр} = E_{фн} \cdot К_{от} \cdot f_{ост} = 14337 \cdot 0,42 \cdot 0,41 = 2325,2 \text{ Вт/м}^2 \text{ или } 2,32 \text{ мВт/м}^2,$$

где $E_{фн}$ – энергетическая освещенность прямого падающего солнечного излучения;
cos θ – косинус угла между направлением луча и нормалью к плоскости окна;
$S_{осв.пов}$ – площадь отражающей плоскости фасада равная 380,16 м^2;
$К_{от}$ – усредненный коэффициент отражения, зависит от материала отделки отражающих поверхностей;
$f_{ост}$ – коэффициент остекления фасада 0,41.

$$E_{фн} = J^{\perp} \cdot \cos\theta \cdot S_{осв.пов} = 296 \cdot 0,127 \cdot 380,16 = 14337 \text{ Вт/м}^2,$$

где

$$\theta = \sqrt{h_0 + (A_0 - A_н)^2} = \sqrt{442 + (0 - 70)^2} = 82,68°.$$

Для определения $К_{отр}$ для отражающей поверхности были выбраны алюминиевые листы с коэффициентом отражения в УФ-спектре равным 0,8, усредненный коэффициент будет равен:

$$К_{отр} = (0,8 + 0,035)/2 = 0,42.$$

Коэффициент остекления фасада составил:

$$f_{ост} = 1 - S_{ост}/S_{фас} = 1 - 224,45/380,16 = 1 - 0,59 = 0,41,$$

где $S_{ост}$ – площадь остекления фасада, равная 224,45 м^2;
$S_{фас}$ – площадь фасада – 380, 16 м^2.

Данные по результатам расчетов энергетической освещенности в каждый час суток в апреле и июле месяце приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения энергетической освещенности по часам суток в апреле и июле месяце

месяц	часы	h_0	A_0	$A_н$	θ	cosθ	$К_{ост}$	$f_{ост}$	$J_{пр}$, мВт/м^2	$E_{фн}$, Вт/м^2	$E_{отр}$, Вт/м^2	$E_{отр}$, мВт/м^2
Апрель	12	44	0	70	82,68010643	0,127409	0,42	0,41	296	14336,99783	2468,831026	2,468831026
	11	42,5	20,6	70	65,16601875	0,41999	0,42	0,41	276	44067,13967	7588,361451	7,588361451
	10	38,3	38,6	70	49,52625566	0,6491	0,42	0,41	164	40468,91482	6968,747132	6,968747132
	9	32,2	55,4	70	35,35533906	0,815579	0,42	0,41	112	34725,66109	5979,758841	5,979758841
	8	24,7	69,6	70	24,70323865	0,908485	0,42	0,41	30	10361,08467	1784,178779	1,784178779
	7	16,7	82,8	70	21,04115016	0,933323	0,42	0,41	3	1064,435991	183,2958777	0,183295878

Сумма, $E_{отр}$ 24,97317311

месяц	часы	h_0	A_0	$A_н$	θ	cosθ	$К_{ост}$	$f_{ост}$	$J_{пр}$, мВт/м^2	$E_{фн}$, Вт/м^2	$E_{отр}$, Вт/м^2	$E_{отр}$, мВт/м^2
Июль	12	56	0	70	89,64373932	0,006218	0,42	0,41	260	614,5853782	105,8316021	0,105831602
	11	54,2	24,4	70	70,83078427	0,328359	0,42	0,41	260	32455,54854	5588,845458	5,588845458

Продолжение таблицы 2

Июль	10	49,4	45,2	70	55,27567277	0,569629	0,42	0,41	238	51538,89720	8874,998098	8,874998098
	9	42,6	63,2	70	43,13930922	0,729693	0,42	0,41	198	54925,24265	9458,126784	9,458126784
	8	34,8	77,4	70	35,57808314	0,813323	0,42	0,41	112	34629,61764	5963,220157	5,963220157
	7	26,4	90,6	70	33,48611653	0,834020	0,42	0,41	40	12682,43471	2183,915258	2,183915258
	6	18	102,6	70	37,23922663	0,796116	0,42	0,41				
	5	10,1	114,8	70	45,92439439	0,695607	0,42	0,41				

Сумма, $E_{отр}$ 32,17493736

Анализ полученных результатов, подтверждает, что за счет солнечного отражения от поверхности, расположенной на противоположенном фасаде можно получить дополнительно 24,97 мВт/м^2 в апреле и 32,17 мВт/м^2 энергии на затененные фасады в июле месяце.

Суммируя интенсивность солнечной энергии, пришедшей к поверхностям фасада, где находятся окна двухкомнатной квартиры, естественным способом и за счет отраженной энергии, были получены новые значения доз УФ-радиации в воздухе и на поверхностях (табл. 3).

Таблица 3

Значения суммарной УФ радиации на поверхностях и в воздухе помещения

Квартира № 1

месяц	$E_{отр}$, мВт/м^2	$J_{сум}$, мВт/м^2	$E_{отр}+ J_{сум}$	$J_{пом}$, мВт/м^2	Q, мВт	$\Delta_в$, Дж/м^3	$\Delta_п$, Дж/м^2
Апрель	24,97317311	35,55	60,52317311	16,34125674	85,7916	11,26674883	7,767362524
Июль	32,17493736	198,64	230,8149374	62,32003309	327,1802	42,96757411	22,83369964

Результаты, приведенные в таблице, подтверждают, что жилые комнаты квартиры обеспечиваются УФ-дозой радиации на поверхностях и в воздухе, в соответствии с санитарными нормами:

$$\Delta_в = 42,96 > 39 \text{ Дж/м}^3,$$
$$\Delta_п = 22,\ 83 > 15 \text{ Дж/м}^2.$$

Заключение

На основе проведенных исследований можно сделать заключение о перспективности проектирования более плотной застройки, переменной этажности, при разработке генпланов для территорий, предназначенных под реновацию, рассмотренной на примере района Кузминки в г. Москве.

В решении генплана предложена новая пространственная организация района с достаточно плотной застройкой и частично сохраняемой старой.

Однако при решении плотной застройки здания могут иметь неблагоприятную ориентацию фасадов, особенно при расположении квартиры с одной стороны фасада, и не всегда могут получать достаточное количество инсоляции, удовлетворяющее нормативным требованиям, или быть просто затененными.

Для решения данной проблемы, на примере запроектированного компактного жилого комплекса, включенного в плотную застройку квартала, фасады которого не получали достаточной инсоляции, был разработан новый расчет инсоляции и УФ-облучения жилых помещений на основе энергетического метода, при котором учитываются не только значения прямого солнечного света, но и отраженного, от специально запроектированных отражающих южных поверхностей, расположенных на противоположенном фасаде жилой секции дома.

Использование отраженного солнечного света, от специально запроектированных отражающих поверхностей, при расчете инсоляции и УФ-облучения помещений жилых комнат квартир, позволяет довести расчетные показатели до нормативных значений.

Данная методика может быть рекомендована для внесения определенных изменений в нормативные документы при проведении расчетов инсоляции.

Список библиографических ссылок

1. Лисициан М. В., Пронин Е. С. Архитектурное проектирование жилых зданий. М. : Стройиздат, 2010. 488 с.
2. Шубенков М. В. Структурные закономерности архитектурного формообразования. М. : Архитектура-С, 2006. 321 с.
3. Грициенко Д. Г., Касьянов В. Ф. Постановка задач по применению светодиодов и отражения света фасадами для улучшения условий инсоляции и повышения КЕО при реконструкции городской застройки // Светотехника. М., 2015. № 3. С. 27–31.
4. Дунаев Б. А. Инсоляция жилища. М. : Стройиздат, 2009. 104 с.
5. Ivanova S. M. Estimation of background diffuse irradiance on orthogonal surfaces under obstructed anisotropic sky. Part 1 – Vertical surfaces // Solar Energy, 2013. P. 376–391.
6. Нагаев О. С., Пешкичева Н. С., Германова Т. В. Инсоляция как один из критериев, определяющий расстояние между зданиями // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 189–190.
7. Куприянов В. Н. К оценке теплового комфорта помещений облучаемых солнечной радиацией через световые проемы. Часть 2. Расчет приращения температуры воздуха в помещении за счет солнечной радиации, прошедшей через остекление : сб. ст. Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году / РААСН. Москва, 2019. С. 316–325.
8. Куприянов В. Н. Климатология и физика архитектурной среды. М. : АСВ, 2016. 194 с.
9. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. Littlefair P. Solar Energy, 2001. V. 70. № 3. P. 177–185.
10. Perceived performance of day lighting system: lighting efficacy and agreeableness. Fontoynont M. Solar Energy, 2002. V. 73, № 2. P. 83–94.

Rachkova Olga Georgievna
senior lecturer
E-mail: olga.ra4kova@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Denisova Ekaterina Dmitrievna
architect
E-mail: rina.denisova1995@yandex.ru
Kazan GiproNIIaviaprom
The organization address: 420127, Russia, Kazan, Dementiev st., 1

Solving the problems of designing the residential complexes during the renovation of the territories with the development of the 70^{s} in Moscow

Abstract

Problem statement. The aim of the work is to study the possibility of using the reflected sunlight from the surface of the buildings to ensure the standard values of insolation and rehabilitation of living rooms of apartment, when designing dense buildings in the conditions of the territory renovation.

Results. Based on the research and experimental design, the master plan of the renovation territory was completed. It included a compact residential complex with the normative provision of insolation of the living rooms. It was achieved not only due to the direct sunlight, but also the sunlight reflected from the surface of the opposite facades that have not previously been taken into account in calculation.

Conclusions. The significance of the obtained results for architecture consists in designing a compact residential complex of variable number of storeys, having a modern silhouette and enriching the dense buildings, when solving the general plan in the territory intended for renovation. It gives the possibility to obtain the normalized insolation of the residential premises of the complex's apartments, due to a new calculation method that takes into account not only direct, but also reflected rays from special reflective surfaces of facades.

Keywords: residential complex, territory renovation, dense building, insolation, sanitation of premises, reflected sunlight.

References

1. Lisitsian M. B., Pronin E. S. Architectural design of residential buildings. M. : Stroyizdat, 2010. 488 p.
2. Shubenkov M. V. Structural patterns of architectural shaping. M. : Arkhitektura-S, 2006. 321 p.
3. Gritsienko D. G., Kasyanov V. F. Statement of tasks on the use of LEDs and light reflection by facades to improve the conditions of insolation and to increase KEO during the reconstruction of urban buildings // Svetotekhnika. M., 2015. № 3. P. 27–31.
4. Dunaev B. A. Insolation of the home. M. : Stroyizdat, 2009. 104 p.
5. Ivanova S. M. Estimation of background diffuse irradiance on orthogonal surfaces under obstructed anisotropic sky. Part 1 – Vertical surfaces // Solar Energy. 2013. P. 376–391.
6. Nagaev O. S., Peshkicheva N. S., Germanova T. V. Insolation as one of the criteria that determines the distance between buildings // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2012. № 6. P. 189–190.
7. Kupriyanov V. N. To the assessment of thermal comfort of rooms irradiated with solar radiation through light openings. Part 2. Calculation of the increment of air temperature in the room due to solar radiation transmitted through the glazing: dig. of art. Basic, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Building

Sciences on the scientific support of development of architecture, town planning and building industry of Russian Federation in 2018 / RAACS. Moscow, 2019. P. 316–325.
8. Kupriyanov V. N. Climatology and physics of the architectural environment. M. : ASV, 2016. 194 p.
9. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. Littlefair P. Solar Energy, 2001. V. 70, № 3. P. 177–185.
10. Perceived performance of day lighting system: lighting efficacy and agreeableness. Fontoynont M. Solar Energy, 2002. V. 73, № 2. P. 83–94.

УДК 725.949
Саляхова Маргарита Ракифовна
старший преподаватель
E-mail: greta4336@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Шульпина Юлия Викторовна
техник-архитектор
E-mail: yulya_shulpina@mail.ru
ООО «МостафПроектСтрой»
Адрес организации: 420124, Россия, г. Казань, пр-т. Хусаина Ямашева, д. 37Б

К вопросу об актуальности формирования временной архитектуры как способа преобразования общественных пространств в зимнее время

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования состоит в анализе проблем и перспектив совершенствования общественных пространств в зимнее время, а также в выявлении типологических особенностей временных сооружений, воплощающих в себе новые прогрессивные направления и отвечающих принципам формирования комфортной городской среды нового типа в соответствии запросами будущих поколений.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в комплексной оценке инновационных подходов при проектировании временной архитектуры в структуре общественных пространств в зимнее время. Проведен анализ примеров использования временной архитектуры в мировой практике проектирования общественных пространств. Обоснована актуальность развития такого типа сооружений в соответствии с современными тенденциями архитектурно-образного решения. В работе отражено влияние архитектуры сезонных сооружений на формирование городских пространств в холодный период времени.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в актуальности перспектив развития комфортных общественных пространств, на формирование которых не оказывает влияние климатический фактор, а задает параметр для создания эффективных и эргономичных решений. Определена типология, классификация временных сооружений. Выявлены инновационные подходы в формировании временной архитектуры как важного средового объекта, обладающего большими возможностями для быстрого реагирования на социально-экономические и художественно-эстетические запросы общества.

Ключевые слова: временная архитектура, общественное пространство, климатический фактор.

Введение

Сегодня происходит переосмысление градостроительной политики с целью будущего процветания, безопасности и устойчивого развития городов. Принятие эффективных мер по управлению городскими пространствами проводится на основе постоянного мониторинга ключевых индикаторов, практических исследований, способствующих появлению современных архитектурных решений общественных пространств. Изменились подходы к проектированию и реализации концепций на основе партисипативных практик или соучаствующего проектирования[1].

Соучастие в данном контексте рассматривается как взаимодействие различных сил: жителей, власти, бизнеса, общественных организаций и движений для совместного

[1]Партиципация (от франц. participation – соучастие, сопричастность) – понятие, введённое Люсьеном Леви-Брюлем для обозначения основного закона «пралогического мышления». «Соучаствующее проектирование» значится в Рекомендациях по организации общественного участия в реализации проектов комплексного благоустройства городской среды.

принятия решений. Цель партисипативных практик – создание условий, при которых все заинтересованные стороны (стейкхолдеры) могут обсуждать ситуацию офлайн.

Это может быть совет горожан, публичные слушания, специальные платформы и.т.д. Диалог с горожанами по вопросу полноценного круглогодичного функционирования парков, в том числе и в зимнее время, дает еще один вектор для переосмысления отечественной практики планирования пространств.

Общественные пространства в контексте стратегии города

По мнению А.Л. Гельфонд, «общественное пространство – это пространство общения и социальной активности, организованное в соответствии с доминирующей функцией» [1]. Среда у Линча, теоретика и практика городского планирования, выступает как нечто целостное, почти не подающееся расчленению. В современном контексте стратегии развития города общественное пространство рассматривается не просто как дополнительный элемент города, а как компонент, меняющий его облик. Парки, скверы и другие типологии, грамотно интегрированные в городскую структуру, создают единый общественно-реакреационный каркас, формируя образ города, преобразуя прилегающие территории и оказывая положительное влияние на его экономику. Вместе с тем, такая трактовка городской среды направлена, прежде всего, на улучшение экологии и снижение негативного воздействия мегаполиса. У Джейн Джекобс «жизнеспособность городской экосистемы, так же как и природной, обеспечивается совокупностью разнообразных компонентов»[2]. Их взаимосвязанность, в первую очередь визуальная, обеспечивается различными способами, в том числе при помощи объектов городской среды, включая и временные архитектурные сооружения.

Формирование понятия «временная архитектура» как инструмента преобразования общественных пространств

Понятие «временная архитектура» достаточно условно. Существование временных сооружений как архитектурного объекта на определенном месте всегда ограничено временем. В зависимости от габаритов и продолжительности существования архитектурного сооружения, формируются его понятия как «архитектурный объект» и «малая архитектурная форма» или «объект дизайна» (например, объекты информационного дизайна). И чем меньше временной параметр, тем мобильнее само сооружение.

Концептуальная основа статьи по данной теме базируется на исследованиях в следующих областях:

– история развития кочевой архитектуры: работы И.В. Швецовой, Н.А. Сапрыкиной, Д. Майдара, Е.М. Израилева;

– теоретические концепции и исследования: изучение городской проблематики в советское время в работах Т.Ф. Сваренской, А.В. Бунина и др.; в период 60-х годов работы Р.Б. Фуллера, П. Меймон, И. Фридмана, Ж.Ф. Лиотара, С. Прайса; с середины 90-х годов исследования о временной мобильной архитектуре Р. Кроненбурга (автор 26 книг) [4]. Время возникновения теории архитектуры как временной и мобильной, основными взаимозависимыми понятиями которой являются время и движение, можно считать середину 1960-х годов, когда британский архитектор-теоретик Седрик Прайс развивает свой критический подход к архитектуре. Его теория о возможности движения в архитектуре с последующим воплощением своих идей стала реакцией, в первую очередь, на военный контекст: когда в период военных действий сооружения (казармы) собирались и разбирались. Следуя теории Сендрика Прайса, архитектура должна быть отзывчивой на все происходящие изменения своей эпохи, быстро реагировать и меняться [5].

– проблемы формирования архитектурной среды отражены в работах А.Э. Гутнова, И.Г. Лежавы, А.В. Иконникова, А.Г. Раппопорта, Е.В. Асса, В.Т. Глазычева, А.А. Гаврилина, В.Т. Шимко, и др.

[2]Джейн Джекобс (Jane Jacobs) – канадско-американская писательница, активистка, теоретик городского планирования и одна из основоположниц движения нового урбанизма. Более 50-ти лет назад с позиции городского исследователя сформулировала принципы разнообразной городской жизни, которые актуальны и сегодня.

В 2018 году вышел двуязычный альбом, созданный на основе каталога к выставке «Временная архитектура Парка Горького: от Мельникова до Бана» (2012). Альбом появился благодаря инициативе директора Музея «Гараж» Антона Белова, предложившего продолжить исследование временных сооружений в Парке Горького и дополнить издание дополнительными разделами о новых сооружениях [6].

Преимущество временной архитектуры отмечают многие современные архитекторы, являясь авторами построек такого типа – это Шигеру Бан, Ф. Гери, Р. Коолхас, Ж. Нувель, К. Кума, З. Хадид и др. Именитые архитекторы и известные архитектурные бюро соревнуются за возможность участвовать в престижных архитектурных конкурсах: возведение временных павильонов в Кенсингтонском саду Лондона (Галерея Serpentine); международная выставка EXPO; фестиваль лэнд-арта и ландшафтных арт-объектов «Архстояние» в Парке «Никола-Ленивец» Калужской области и др. Участие архитекторов в конкурсах такого уровня стимулируют архитектурную мысль не только на поиск необычного образа сооружения, но и на новые конструктивные решения [7].

Понятие «общественное пространство» в данной статье рассматривается как открытое общественное пространство: площади, пешеходные променады, парки, набережные, территории перед общественными зданиями, скверы, внутридворовые пространства. Включение временных сооружений различного назначения в то или иное пространство не только дополняют городские ансамбли, но и усиливают значимость событийного места, подчеркивают его айдентику и в дальнейшем могут дать импульс для развития прилегающей территории города.

Сущность стратегического управления городскими пространствами

Стремление города к всесезонному обеспечению высокого уровня комфорта городской среды для горожан требует грамотных и оптимальных решений со стороны управленческих структур с позиций ухода, программирования и дальнейшего развития территории. Сьюзен Холдсворф (Susan Holdsworth), специалист по городской среде и планированию муниципалитета Эдмонтона (Канада)[3], отмечает, что развитие города в зимний период с точки зрения формирования позитивного восприятия городских пространств возможно при создании продуманного дизайна, инфраструктуры, а также при проведении ярких событий и фестивалей (рис. 1) [8]. Еще более эффективны «модели управления на основе сотрудничества городского менеджмента с интеллектуальными лидерами креативных групп и профессиональных сообществ» [9].

а) б)

Рис. 1. Дизайн общественных пространств:
а) арт-объект перед торговым центром West Edmonton Mall, Канада, Эдмонт [8];
б) интерактивная инсталляция Loop на фестивале Luminotherapie-2016, Канада, Монреаль.
Концепция арт-студии Ekumen (https://generiquedesign.com)

Таким образом, положительные примеры управления пространствами показывают, что воплощение инновационных проектных идей становится возможным, а значит, создаются все условия для появления креативных комфортных пространств в зимний период, развитие которых инициируют сооружения с временным параметром.

[3]Сьюзен Холдсворф (Susan Holdsworth) является одним из создателей стратегии Winter City Strategy.

Факторы, влияющие на архитектурно-пространственное формирование временных сооружений

Группу обуславливающих (потенциальных) факторов, отвечающих за актуальность исследования, формируют следующие факторы: природно-климатический, временной, ресурсный и социально-экономический.

К группе формирующих (моделирующих) факторов, влияющих на типологию и структуру временных сооружений, относятся такие факторы как: градостроительный, архитектурно-пространственный, функционально-планировочный, конструктивно-планировочный и художественно-композиционный.

Поэтому формообразование временных сооружений можно рассматривать как многофакторное с доминированием природно-климатического и временного факторов.

Природно-климатический аспект предусматривает атмосферные условия, оказывающие огромное влияние на проектирование сезонных временных объектов. К основным элементам, формирующим климат местности, относятся: температурный, влажностный и ветровой режимы, а также количество осадков (снега). Существенное значение на архитектуру сезонных объектов может оказывать рельеф местности.

Временной фактор представляет собой продолжительность зимнего периода с низкими отрицательными температурами, позволяющие сохранять эксплуатационные характеристики льда и снега как строительных материалов для некоторых сооружений.

К преобладающим факторам можно отнести и конструктивно-планировочный, к которому относят все решения, касающиеся конструкций сезонного объекта из различных материалов, которые отвечают за прочность и жесткость. Устойчивость строения должна отвечать определенным требованиям, вне зависимости от конечного предназначения, способа построения, материалов и используемого оборудования. Кроме этого, конструкции такого типа сооружений должны позволять легко собирать и разбирать их по истечении срока эксплуатации.

Из года в год жители ряда стран, в том числе и на большей части территории России, переживают продолжительные и суровые зимы. Создаваемые общественные пространства должны отвечать этим условиям, они должны оставаться такими же привлекательными и комфортными для жителей. В зимнее время городу надо решить сразу несколько проблем в отношении общественных пространств: низкие температуры, осадки, ветер, дефицит солнечного света, мрачность и серость окружающей среды. Временная архитектура обладает большими возможностями для быстрого реагирования на факторы, оказывающие на нее влияние, в соответствии с меняющимися запросами общества.

Стоит отметить, что многие эскизы проектов благоустройства трактуются в основном в летнее время. Поэтому актуальность исследования обусловлена низкой степенью проработанности подходов к проектированию сезонной архитектуры. Проблематику можно проиллюстрировать примерами мировой и отечественной практики, которая доказывает, что суровые природные условия не всегда являются помехой для создания привлекательного общественного пространства. Более того, яркая смена сезонов дает еще больше возможностей для интересных проектных решений с переосмыслением базиса проектирования. Запрос горожан на качественную среду усиливается в связи с появлением необычных современных решений рекреационно-парковых зон, так как есть возможность их сравнивать.

Поэтому, на сегодняшний день, использование традиционных подходов в оформлении городского пространства в зимний период с включением временных объектов требует переосмысления.

Временные сооружения как элементы городских событий в зимнее время. Зарубежный опыт

Известен многолетний опыт проведения снежных фестивалей многими странами. Япония и Китай – это те страны, где были заложены основы традиций для создания сооружений изо льда и снега. Тематика этих конкурсов ежегодно меняется. К созданию, как отдельного объекта, так и огромных архитектурных комплексов приглашаются профессиональные архитекторы, дизайнеры, скульпторы и художники.

Международный фестиваль ледяных и снежных скульптур в Харбине (Harbin International Ice and Snow Sculpture Festival) можно отнести к самым крупномасштабным мероприятиям такого типа в мире (рис. 2) [10]. В период проведения фестиваля в 2019 году на площади более 600 тыс. м^2 было создано около 2000 различных арт-объектов, отличающиеся масштабностью и сложностью воспроизведения. Всего за месяц экспозицию посетили более 18 миллионов туристов. Поэтому очевидна и экономическая эффективность создания таких уникальных сооружений, так как при этом расширяются туристические рамки, и повышается культурно-познавательная привлекательность Китая. Харбин, город, основанный русскими в 1898 году, вот почему в архитектурно-пространственных и композиционных решениях фестивальной площади и сооружений прослеживаются характерные черты архитектуры Санкт-Петербурга и Москвы.

а) б)

Рис. 2. Международный фестиваль ледяных и снежных скульптур в Харбине (Harbin International Ice and Snow Sculpture Festival), Китай, 2019 г. [10]: а) общий вид на ледяную горку; б) общий вид ледяного сооружения

Архитектурные сооружения изо льда, формирующие объемно-пространственную композицию площадей зимних фестивалей, можно рассматривать как основные средообразующие компоненты, которые привлекательны не только с точки зрения туристического аспекта, но и с точки зрения культурно-исторического.

Другие примеры дизайнерских решений временных сооружений как арт-объектов представлены в рамках фестивалей другого тематического направления и решают проблему недостатка света зимой в северных широтах. Это ежегодный Winter Lights Festival («Фестиваль зимних огней») в Рейкьявике, Исландия. Такой же фестиваль проводится в Портленде, США. Получил популярность среди жителей Канады и фестиваль Luminotherapie («Светотерапия») в Монреале, где многие инсталляции авторов выступают не просто как арт-объекты, а как эксклюзивные концепции. Причем, многие из них созданы с применением генеративного дизайна, который позволяет по заданным параметрам создавать оптимальный вариант архитектурных решений. Усиливают восприятие световых инсталляций музыкальное сопровождение и лазерное шоу, превращая городские пространства в период проведения фестиваля в мультимедийные спектакли и цветомузыкальные представления. Таким образом, освещённое пространство, оригинальный дизайн арт-объектов, преобразуют улицы, площади города в более динамичные и привлекательные общественные пространства в зимнее время.

Временные сооружения как элементы городских событий в зимнее время. Отечественный опыт

В России с 2017 года в рамках Федерального приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды» ежегодно преображаются общественные пространства российских городов. Масштабная работа по созданию и преобразованию таких территорий идет и в Татарстане, работа проводится в соответствии со «Стратегией социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 года» [11]. Свое переосмысление найдут 140 общественных пространств республики, еще около 30

объектов будут модернизированы. Все реализуемые проектные решения проводятся с использованием современных тенденций, направленных, прежде всего, на повышение качества жизни человека, создание комфортной среды и усиление визуальной привлекательности территорий.

Исследования временных сооружений из отечественной практики показывают возросший интерес населения к таким объектам как к точкам городского комфорта в зимнее время. Накопился достаточный опыт создания городских пространств в России, где интересны образные решения временной архитектуры в их структуре.

Также как и западные, российские архитекторы продолжают поиск форм временной архитектуры с использованием новых материалов, конструкций и технологий. Площадками для реализации смелых идей являются:

– архитектурный Фестиваль «Города». Проводится с 2009 года, место проведения ежегодно меняется. За весь период построено 635 архитектурных объектов и сооружений;

– ежегодный зимний архитектурный фестиваль «БухАрт». Организован в 2007 году по инициативе команды КМА;

– Международный архитектурный фестиваль «О'Город». Проводится на протяжении 9 лет, за этот период реализовано более 80 объектов на общественных пространствах различных городов;

– фестиваль российского дизайна Sretenka Design Week. Ежегодно проводится в Москве;

– архитектурный фестиваль «Архстояние». Проводится два раза в год с 2006 года в Парке «Никола-Ленивец» (Дзержинский район Калужской области);

– территория курорта «Пирогово» Московской области. С 2002 года является уникальным местом проведения архитектурных экспериментов для многих известных зарубежных и российских архитекторов;

– выставка «Временная архитектура Парка Горького: от Мельникова до Бана». Место и время ее проведения – «Центральный парк культуры и отдыха им. Горького», 2012 год. Экспозиция раскрывает историю создания временных сооружений и представляет проекты современных построек известных архитекторов.

Однако, если в летний период тематика проведения конкурсов и фестивалей достаточно разнообразна, то в зимний период она, в основном, ограничивается проведением снежных фестивалей, конкурсов и мероприятий. Несмотря на это, в России надо отметить многолетний положительный опыт организации конкурсов и фестивалей сооружений из снега и льда, сопровождающийся ростом спроса туристов на событийный туризм и на туризм впечатлений. Самые значимые мероприятия с участием зарубежных и российских команд это: фестиваль снежных и ледовых скульптур «Гиперборея» на Онежском озере в Петрозаводске; фестиваль снежных и ледовых скульптур «Хрустальный Томск»; Красноярский фестиваль ледяных и снежных скульптур «Волшебный лед Сибири»; Международный фестиваль ледовой скульптуры «Европа-Азия» в Екатеринбурге; Кубок России по снежной и ледовой скульптуре «Зимний вернисаж» в Перми и т.д. В пермском конкурсе ежегодно принимают участие только титулованные профессионалы – победители, призеры российских и зарубежных международных конкурсов снежной и ледовой скульптуры в Китае, Канаде, Мексике, Франции, США и др. [12]. Поэтому, с ростом заинтересованности горожан к таким мероприятиям, возрастают потребности в комфортной среде, в удовлетворении эстетических запросов через повышение качества архитектурно-художественных решений, не только объектов ледовой архитектуры, но и окружающей временной инфраструктуры как компонентов объемно-пространственных композиций зимних городков.

Использование других территорий: парков, площадей, скверов как части уличной ткани в зимний сезон традиционно сопровождается размещением на них катков, лыжных трасс и горок. Они отличаются между собой масштабами, местоположением в структуре города и функциональным содержанием. Так, открытый каток в Казани протяженностью 1000 м, расположен в центре города – на Кремлевской набережной, близ Казанского Кремля. Примечательно то, что, на сегодняшний день, он является самым длинным катком в Европе. Прилегающая к конькобежной трассе сервисная инфраструктура (кафе,

рестораны, торговые павильоны) обеспечивает комфортность и привлекательность территории. Но, наряду с этим, необходимо создавать альтернативные современные благоустроенные пространства для жителей не только в центральной части, но и в периферийных районах города.

Временные сооружения как элементы городских пространств. Зарубежный опыт

Архитекторы шведского бюро UMA[4] представили ряд инновационных проектов, основанных на концепции максимального использования потенциала городского пространства и его популяризации в условиях сурового климата [13].

С целью организации разнообразия досуга горожан в холодное время года архитекторы бюро UMA предложили проводить ежегодные фестивали скалолазания, используя естественные склоны одного из островов Стокгольма Кунгсхольмен. Особенность проекта в том, что затраты на этот проект минимальны – основным материалом служит снег и лед, расположенный на самих склонах. Используя цвет, архитекторы добились яркой выразительности пространства, преобразовав его в своеобразное арт-пространство города. Цветодизайн в этом проекте несет еще и смысловую нагрузку – определенный окрас соответствует разному уровню сложности прохождения трассы альпинистами. Помимо этого, архитекторы учли еще один из неблагоприятных факторов зимнего периода – ветер. Поэтому ветрозащитные укрытия из цветного льда представлены не отдельными средовыми элементами, а компонентами общей концепции проекта.

В одной из концепций архитекторы представляют временное сооружение – павильон с функцией обогрева как некий арт-объект пространства, который решает не только эстетические задачи формирования окружающей среды, но и решает проблему холода в зимний период. Такое нестандартное решение сооружения в виде водяного радиатора, выполненное из изолированных стальных труб, может вписаться в любое общественное пространство города (рис. 3) [13].

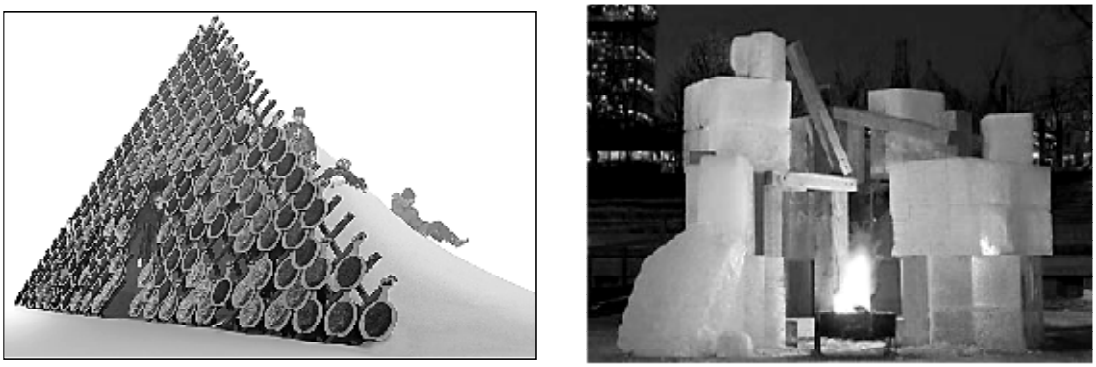
а) б)

Рис. 3. Зимний павильон в г. Виннипег, Канада, 2015 г.
(https://www.u-m-a.se/filter/Featured/RADIATOR): а) проект павильона; б) общий вид павильона

Проведение конкурсов дает еще больше возможностей для смелых архитектурных решений временных сооружений и арт-инсталляций. На Конкурс Warming Huts (согревающие хижины)[5] архитекторы, дизайнеры, художники и студенты-архитекторы ежегодно представляют свои концепции «согревающих хижин» вдоль трассы катка на реке Ассинибойн в канадском городе Виннипег (рис. 4). По условиям организаторов конкурса, проекты должны отвечать следующим критериям: оригинальное образное решение, взаимосвязь с окружающим ландшафтом, доступность и экологичность

[4]Шведское бюро UMA основано в 2014 году Ульфом Мейергреном (Ulf Mejergren).
[5]Конкурс Warming Huts поддерживается Ассоциацией архитекторов Манитобы (Канада) и проводится с 2009 года.

материалов, простота монтажа, мобильность конструкции, надежность, а для временных сооружений еще и обеспечение основной функции – защита от холода.



а) б)

Рис. 4. Проекты, представленные на конкурс Warming Huts, Канада (https://www.warminghuts.com/gallery): а) концепция укрытия, Бюро UMA, Швеция, 2014 г.; б) «Бытовка», арх. Фрэнк Гери, 2012 г.

Конкурс Warming Huts стал площадкой, аккумулирующей лучшие концептуальные идеи временных сооружений. Стимулом для участия в данном конкурсе является и то, что три лучших проекта в дальнейшем реализуются при участии самих конкурсантов. Концепции малых архитектурных форм тоже находят свое воплощение; конструктивно простые, яркие по цвету, интересные по форме они дополняют и оживляют городские зоны. На сегодняшний день стало очевидным, что благодаря конкурсу данное общественное пространство в структуре города Виннепег становится для жителей и туристов еще более привлекательным не только с эстетической точки зрения, но и в отношении обеспечения комфортных условий.

Цвет – еще один из факторов, влияющий на формирование имиджа городского пространства. В зимнее время особенно остро ощущается недостаток ярких красок, серая цветовая гамма окружающего пространства действует угнетающе на человека. Решая эту проблему, архитекторы дизайн-студии Atomic3 (Канада) предложили свое решение преобразования городских территорий посредством инсталляций в виде стендов с цветными стеклами. Так, благодаря такому проекту, в 2011-2012 годах площадь Эмили Гамелен в Монреале стала имиджевым пространством не только летом, но и зимой [12].

Временные сооружения как элементы городских пространств. Отечественный опыт

С развитием темы устойчивых городов и устойчивой среды в зимнее время произошли существенные перемены к лучшему – появились современные смелые трактовки общественных пространств. Многие решения основаны на заимствовании принципов природы в архитектуре с учетом различных аспектов: эстетического, функционально-пространственного и конструктивного. Парки стали привлекательными, разнообразными по своему функциональному содержанию. В зимнее время одним из немаловажных факторов обеспечения комфортных условий является безопасность. С учетом короткого светового дня, городское пространство, в том числе и парков должно быть равномерно освещено в вечернее время по всей его территории, что обеспечивает безопасное нахождение посетителей. Ежегодно, с целью быстрого реагирования на возникающие проблемы, в парках, проводится мониторинг общественного мнения, по результатам которого составляется рейтинг парков по многим показателям. Так, в 2018 году было выявлено, что не во всех московских парках была достаточная освещенность. В один из таких рейтингов попал парк Фили из-за полного отсутствия света на его территории. Сегодня решили эту проблему – стало гораздо безопаснее, увеличилась его посещаемость. Диалог с горожанами выявил еще одну, сопутствующему зимнему

периоду, проблему – отсутствие ветрозащитных и отапливаемых мест, где посетители могут бесплатно погреться и укрыться от ветра. Поэтому есть основание полагать, что размещение временных сооружений поможет справиться с этой задачей. На примере лучших реализованных проектов общественных пространств российских городов, возникших на постсоветском пространстве за последние десятилетия с включением оригинальных решений временных сооружений можно сделать вывод, что проектный потенциал огромен для современной трактовки общественных пространств и их реализации в дальнейшем. У архитекторов появляется очередная возможность для воплощения смелых концепций объектов такого назначения.

Анализ и исследования мирового и отечественного опыта проектирования и строительства сезонных временных сооружений дают возможность классифицировать их по некоторым признакам, например:

– по месту расположения:

- центральные (площади, пешеходные пространства, парки, набережные);

- периферийные (зоны перед общественными зданиями, скверы, внутридворовые пространства).

– по функциональному назначению:

- объекты, как часть общественного пространства;

- объекты, как элементы городских событий (фестивали, конкурсы, праздники, выставки и др.).

– по материалам:

- материалы, составляющие остов сооружения: дерево, металл;

- материалы, применяемые в качестве ограждающих конструкций и покрытий сооружений: дерево, стекло, лед, металлические листы, пластик, тентовые и тканевые покрытия и др.

Заключение

На основе сравнительного анализа временных сооружений, как структурного элемента общественных пространств в отечественной и мировой практике, была выявлена многовариантность типологических особенностей, обусловленная природно-климатическим, временным, ресурсным и социально-экономическим факторами. Наряду с этим, определены общие принципы их архитектурно-пространственной и функционально-планировочной организации по подобию форм и функций, а также по включению их, как непосредственных участников, в структуру различных социально-экономических и культурно-массовых мероприятий.

Несмотря на сезонность архитектуры, перспективность применения временных рекреационных сооружений в структуре городских пространств очевидна, так как они, во-первых, являясь биопозитивными по содержанию, оказывают влияние на качество работы всего городского механизма; во-вторых, служат точками притяжения инвестиций и человеческих ресурсов, и, в конечном итоге, участвуют в благоустройстве общественных пространств, повышая их качество, делая более привлекательными, доступными и комфортными в зимний период, обеспечивая тем самым повышение уровня жизни человека. А архитектурно-образные решения временных сооружений на основе современных мировых тенденций будут способствовать повышению эстетических и градостроительных параметров городской среды в ближайшем будущем.

Список библиографических ссылок

1. Гельфонд А. Л. Общественное здание и общественное пространство. Дуализм отношений // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 20–33.
2. Lynch K. The image of the City. Cambridg: The MIT Press, 1960. 194 p.
3. Джейн Джекобс. Смерть и жизнь больших американских городов. М. : Новое издательство, 2011. 460 с.
4. Kronenburg Robert. Architecture in Motion: The History and Development of Portable Building. Abingdon : Routledge, 2013. 328 p.

5. Шевченко А. Седрик Прайс: антиархитектор № 1 // Русский журнал: ежедн. интернет-изд. 08.02.2013. URL: http://www.russ.ru/pole/Sedrik-Prajs antiarhitektor (дата обращения: 11.10.2019).
6. Сергей Колузаков, Марианна Евстратова. Временная архитектура Парка Горького. М. : Музей современного искусства «Гараж», 2018. 256 с.
7. Временно доступные. Павильоны как лаборатории для экспериментов // archsovet.msk.ru: «Архсовет Москвы». Сайт главного архитектора Москвы Сергея Кузнецова. 2013. URL: https://archsovet.msk.ru/article/gorod/vremenno-dostupnye-pavil-ony-kak-laboratorii-dlya-eksperimentov (дата обращения: 06.10.2019).
8. Downtown Public Places Plan // edmonton.ca: the official website the city of Edmonton. URL: https://www.edmonton.ca/projects_plans/downtown/downtown-publicplacesplan.aspx?utm_source=virtualaddress&utm_campaign=downtownpublicplacestheofficial website (дата обращения: 11.10.2019).
9. Набиуллина К. Р. Фактор культурных традиций, интеллектуального и информационного ресурсов в управлении инновациями в градостроительном развитии // Теория и практика общественного развития. 2017. № 9 (116). С. 25–27.
10. Photos of the 2019 Harbin Ice and Snow Festival // The Atlantic: ежемес. интернет-издание. 2008. URL: https://www.theatlantic.com (дата обращения: 02.10.2019).
11. Стратегия социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года // KZN.RU: официальный сайт мэрии г. Казань. 2016. URL: https://www.kzn.ru/o-kazani/strategiya-kazani-2030/ (дата обращения: 05.10.2019).
12. Как обустроить Россию зимой? // varlamov.ru: автономный блог. 2006. URL: https://varlamov.ru/3189919.html (дата обращения: 05.10.2019).
13. Fredhdll ice falls // u-m-a.se : the official website Bureau UMA. 2014. URL: https: //www.u-m-a.se/filter/Public/FREDHALL-ICE-FALLS (дата обращения: 11.10.2019).

Salyakhova Margarita Rakifovna
senior lecturer
E-mail: greta4336@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya str., 1
Shulpina Yuliya Viktorovna
technician architect
E-mail: yulya_shulpina@mail.ru
LLC «MostafStroyProekt»
The organization address: 420124, Russia, Kazan, Khusain Yamashev ave., 37B

To the question of the relevance of the formation of temporary architecture as a way to transform public spaces in winter

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to analyze the problems and prospects of improving public spaces in the winter, as well as to identify typological features of temporary structures that embody new progressive directions and meet the principles of creating a comfortable urban environment of a new type in accordance with the needs of future generations.

Results. The main results are a comprehensive assessment of innovative approaches in the design of temporary architecture in the structure of public spaces in the winter. The analysis of examples of the use of temporary architecture in the world practice of designing public spaces is carried out. The relevance of the development of this type of structures in accordance with modern trends of architectural and figurative solutions is substantiated. The work reflects the influence of the architecture of seasonal structures on the formation of urban spaces in the cold period of time.

Conclusions. The significance of the obtained results for architecture is the relevance of the prospects for the development of comfortable public spaces, the formation of which is not

influenced by the climatic factor, but sets a parameter for creating effective and ergonomic solutions. The typology and innovative approaches to the formation of temporary architecture as an important environmental object with great potential for quick response to socio-economic and artistic-aesthetic needs of society are determined.

Keywords: temporary architecture, public spaces, climate factor.

References

1. Gelfond A. L. Public building and public space. Dualism of relations // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2015. № 2. P. 20–33.
2. Lynch K. The image of the City. Cambridg : The MIT Press, 1960. 194 p.
3. Jane Jacobs. The death and life of big American cities. M. : Novoye izdatel'stvo, 2011. 460 p.
4. Robert Kronenburg. Architecture in Motion: The History and Development of Portable Building. Abingdon : Routledge, 2013. 328 p.
5. Shevchenko A. Cedric Price: antiarchitecture № 1 // Russian journal: a daily. Internet ed. 08.02.2013. URL: http://www.russ.ru/pole/Sedrik-Prajs-antiarhitektor (reference date: 11.10.2019).
6. Sergey Koluzakov, Marianna Evstratova. Temporary architecture of Gorky Park. M. : Muzey sovremennogo iskusstva «Garazh», 2018. 256 p.
7. Temporarily available. Pavilions as laboratory for experimentation // archsovet.msk.ru «the Archuleta has Moscow». Website of the chief architect of Moscow Sergey Kuznetsov. 2013. URL: https://archsovet.msk.ru/article/gorod/ vremenno-dostupnye-pavil-ony-kak-laboratorii-dlya-eksperimentov (reference date: 06.10.2019).
8. Downtown Public Places Plan//https: // edmonton.ca: the official website of the city of Edmonton. URL: https://www.edmonton.ca/projects_plans/downtown/downtown-publicplacesplan.aspx?utm_source=virtualaddress&utm_campaign=downtownpublicplacesthe official website (reference date: 11.10.2019).
9. Nabiullina K. R. Factor of cultural traditions, intellectual and information resources in innovation management in urban development // Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya. 2017. № 9 (116). P. 25–27.
10. 2019 Photos of the Harbin Ice and Snow Festival The Atlantic: a monthly. online edition. 2008. URL: https://www.theatlantic.com (reference date: 02.10.2019).
11. Strategy of social and economic development of the municipality Kazan until 2030 // KZN.RU: official website of Kazan city hall. 2016. URL: https://www.kzn.ru/o-kazani/strategiya-kazani-2030/ (reference date: 05.10.2019).
12. How to equip Russia in winter? // varlamov.ru: offline blog. 2006. URL: https://varlamov.ru/3189919.html (reference date: 05.10.2019).
13. Fredhдll ice falls // u-m-a.se: the official website Bureau UMA. 2014. URL: https:// www.u-m-a.se/filter/Public/FREDHALL-ICE-FALLS (reference date: 11.10.2019).

УДК 727.1
Хазиахметова Елизавета Викторовна
архитектор
E-mail: lizagureeva.arch@gmail.com
АС «Биплан»
Адрес организаци: 420012, Россия, г. Казань, ул. Некрасова, д. 29а
Ахтямов Ильнар Ингельевич
доцент
E-mail: achti@mail.ru
Ахтямова Резеда Хакимовна
старший преподаватель
E-mail: rezeda.akhtiamova@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Принципы экологизации архитектурного пространства современной школы

Аннотации

Постановка задачи. В современной школе необходимо закладывать стремление у детей к созиданию природы и окружающего мира. Поэтому цель данной работы – предложить принципы организации архитектурного пространства школы на основе современных тенденций, ориентированных на экологизацию архитектуры.

Результаты. Основные результаты работы состоят в выявлении экологически грамотных решений по организации архитектурного пространства в современных общеобразовательных школах.

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для архитектуры состоит в модернизации архитектурных решений по организации образовательного пространства, которые станут основой для создания новой типологии школ. Новые принципы проектирования могут оказать благоприятное влияние на воспитание и развитие детей, а также создание гуманного и культурного общества. Полученные решения можно использовать в качестве рекомендаций по проектированию образовательных объектов для детей.

Ключевые слова: школьное пространство, архитектура образовательных объектов, экологизация школьного пространства, образовательная среда, энвайроментализм.

Введение

В настоящее время в мире наблюдается стремление к гуманизации общества, внимательного отношения друг к другу, к природе и к нашей планете. Значительную роль в создании такого современного общества играет школа, являясь тем местом, куда дети приходят получать знания о мире.

В школе дети проводят большую часть своего времени, и здесь, как и в семье, у детей формируются основные жизненные ценности и грамотное поведение. Если говорить о роли школьного пространства, внутреннее содержание школы также может оказать положительное влияние на воспитание подрастающих поколений. Архитектурное пространство школы может стать «третьим учителем», обучающей средой. Оно должно способствовать развитию у детей правильных жизненных навыков.

Как привить детям любовь к окружающей среде, используя архитектурные средства, и научить их вести экологически-грамотную деятельность? Ценности нашего времени и культуры должны ставить во внимание вопрос качества экологии и сохранения природной среды, так как это очень важная на сегодняшний день тема, которую общество ставит на первый план [1]. Архитектура, как часть современной культуры, должна предлагать свои решения глобальных проблем мирового уровня.

Существует такое понятие как «энвайроментальная педагогика». Это форма воспитания, просвещения и экологизации образования в духе максимального стремления к рациональному использованию природных ресурсов и сохранению природной среды [2].

Тенденция экологизации должна быть основой архитектурной концепции общеобразовательных школ нашего времени, так как именно это направление нацелено на воспитание взаимоотношений между людьми, между человеком и природой, а также на понимание человеческой ответственности за сохранение жизни на Земле.

Влияние концепции экологического образования на архитектурное пространство современной школы

Экологическое образование – непрерывный процесс обучения, накопления опыта и развития личности, направленный на формирование ценностных ориентаций, норм поведения и на получение специальных знаний по охране природной среды, реализуемых в экологически правильной деятельности[1]. Такое образование не должно быть специализированным или в качестве дополнения к образовательной программе. В перспективе оно станет неотъемлемым в любой общеобразовательной школе [3]. Поэтому архитектура школ должна соответствовать данным тенденциям.

При внедрении экологического направления в школах важна адаптация образовательной программы, создание новых форм и методов обучения [4]. Новая методика экологического образования должна вносить следующий вклад в развитие личности ребенка в направлении экологически грамотной деятельности:

- побуждать к получению знаний в сфере экологически грамотной деятельности, способствовать интересу к данной теме;
- воспитывать в детях творческое мышление, дидактические навыки, которые позволят ребенку анализировать собственные поступки и заранее предвидеть последствия деятельности человека;
- побуждать детей к применению знаний на практике, прививать детям стремление к здоровому образу жизни, который они будут осознанно соблюдать внутри и за пределами школы.

Метод обучения – это, прежде всего, образовательный процесс. Если речь идет о внедрении новых преподавательских методик, это означает, что в привычную систему деятельности учителей и учеников включаются новые процессы, что предполагает изменение пространства, структуры, содержания и облика школы.

Как и во многих других направлениях жизни общества, в сфере образования архитектура должна играть роль оболочки, которая объединяет в себе разные образовательные процессы, будь то урок в классе или отдых во время перемены. Если один процесс изменяется, или появляется новый, архитектура должна со временем реагировать на эти изменения и трансформироваться таким образом, чтобы соответствовать новым формам деятельности.

В таком случае, какими же должны быть архитектура и пространство школ, которые будут воспитывать гуманное общество в рамках экологически правильного подхода? Чтобы ответить на данный вопрос, необходимо проанализировать разные пространства школы, которые могут иметь возможность изменения вследствие внедрения новых образовательных процессов в школе.

Экологизация архитектуры современных школ может оказать большое влияние на территорию школы; функциональную программу; на общую структуру школы; пространственную организацию классов, общественных зон, библиотек, а также коммуникационных пространств и хозяйственно-технических помещений; на интерьеры школьных пространств. Одним словом, новая образовательная система может полностью изменить состав школьных пространств.

Территория и благоустройство современной школы

Как уже было описано выше, энвайроментальная педагогика учит общество стремиться к рациональному использованию природных ресурсов и сохранению природной среды. Большую роль в таком образовательном процессе играет организация

[1]Модельный экологический кодекс для государств-участников Содружества Независимых Государств (общая часть). (Принят в г. Санкт-Петербурге 16.11.2006 Постановлением 27-8 на 27 пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ).

территории школы и то, как она благоустроена. Пространство школьного двора, основанное на концепции экологического образования, должно воспитывать в детях любовь к природе, быть доступным и функциональным пространством, экологичным и устойчивым. Последнее подразумевает совокупность архитектурных и инженерных решений, которые обеспечивают высокое качество окружающей среды и сохранение экологического баланса.

Если говорить об идеальной модели, территория школы должна быть обширной, чтобы сочетать в себе разные игровые зоны, комплекс спортивных площадок, зоны отдыха, сады, теплицы и экологические тропы. Все это необходимо для того, чтобы ученики школы могли больше времени проводить на улице и познавать природу на практике, находясь с ней в прямом взаимодействии. Такой опыт проектирования активно развивался в России в советский период времени до унификации архитектурных решений по проектированию школ.

Однако, не всегда площадь, отведенная под школу, позволяет организацию обильной зеленой зоны и достаточного количества уличных площадок для развития детей и отдыха. Поэтому необходимо предусмотреть архитектурные решения для следующих характерных типов школьных территорий (рис. 1):

- обширная территория школы (более 3 га);
- небольшая территория школы (около 3 га);
- практическое отсутствие территории и возможности ее организации (менее 3 га).

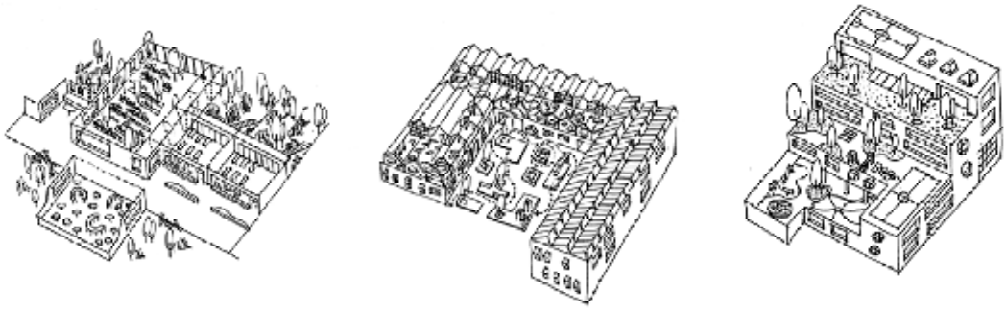


Рис. 1. Пример планирования территории школы (иллюстрация авторов):
1 – обширная территория (более 3 га); 2 – небольшая территория (около 3 га);
3 – практическое отсутствие территории и возможности организации территории (менее 3 га)

В условиях наличия обширной пришкольной территории возможна реализация идеальной модели экологической образовательной школы. В таком случае можно создавать богатую природно-парковую среду на территории школы, открытые и полузакрытые пространства, при этом граница между зданием и улицей в визуальном плане может практически отсутствовать. Дети будут развиваться в богатой природной среде, смогут чаще проводить занятия и игры на свежем воздухе, находясь в прямом взаимодействии с природой.

На участке среднего размера также возможна организация полноценной территории школы: в таких условиях здание школы может служить барьером между городом и пространством школьного двора. Объект формируется вокруг открытой зоны, таким образом, организуется защищенный, зеленый двор. Все дополнительные функции школьного двора можно перенести на крышу здания. Так можно сформировать полноценную территорию школы, которая будет соответствовать принципам экологического образования. Примером такой организации может служить здание школы Святой Исадоры во Франции, по проекту бюро ANMA [5].

Гораздо более интересных архитектурных решений требует ситуация, когда у школы практически отсутствует возможность организации территории. Такие условия контрастируют с идеей воплощения экологического образования в школе. Поэтому можно предложить оригинальные решения, как в условиях отсутствия территории создать насыщенное зеленью уличное пространство снаружи или внутри школы. Часть зеленых насаждений со всеми площадками и зонами отдыха переносятся на крышу. Если

же нет возможности эксплуатировать кровлю, можно организовать внутренние дворы в здании: цельный двор или небольшие зеленые островки, разбросанные по общественной зоне. Дизайн интерьера при этом также может быть максимально приближен к природной тематике за счет материалов и форм. Хорошим примером таких решений служат школа «Marlborough» в Великобритании от архитектора Диксона Джонса [6] и школа «WeGrow» в США от бюро BIG [7].

Таким образом, на любой территории, вне зависимости от ее формы или размера, можно реализовать концепцию энвайроментального образования и организовать насыщенное зеленью пространство, в котором дети смогут общаться с природой и изучать ее особенности на практике.

Важно отметить, что уличное пространство – очень важная часть школы, которая также может быть образовательным пространством и может оказать благоприятное влияние на учеников школы.

Функциональная программа школы

Направление экологического образования предполагает внедрение новых преподавательских методик и обучающих процессов в функциональную программу школы [8]. Таким образом, в школе дети получают не только базовые знания, но и дополнительное образование, и духовное воспитание, которые могут повлиять на образ жизни школьников.

Функциональную программу школы можно разделить на 3 основных процесса (рис. 2):

- классные занятия (получение базовых знаний);
- дополнительные занятия (дополнительное развитие);
- перемены и свободное после учебных занятий время (духовное воспитание).

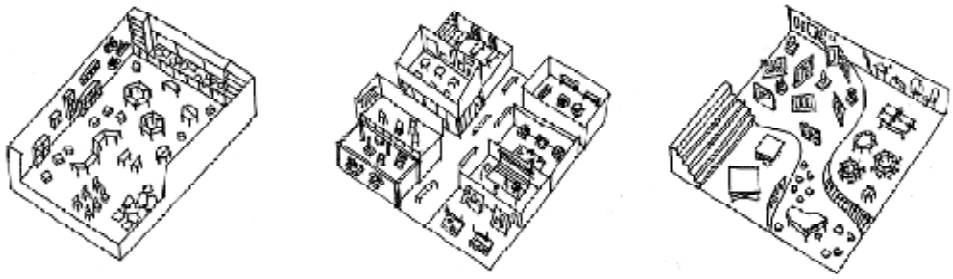


Рис. 2. Классификация процессов функциональной программы (иллюстрация авторов):
1 – классные занятия; 2 – дополнительные кружки; 3 – свободное от учебы время

Каждый из пунктов данной классификации может дополняться новыми функциями в соответствии с концепцией экологического образования. Будь то класс для занятий или школьная библиотека, новые формы обучения должны внедряться во все направления школьной жизни, так как экологическая направленность выражается не только в отдельных предметах, она определяет образ жизни в целом.

Кабинеты и аудитории – это главное место, где дети получают знания: здесь они работают с учителем, выполняют проекты, пишут индивидуальные работы и т.д. Пространство школьных классов может дополняться новыми зонами, например, зоны для изучения мира животных в игровой форме, зоны для проведения опытов и экспериментов, зеленые уголки, места для отдыха перед окном.

В данном случае очень большое значение имеют дополнительные образовательные пространства. Можно смело говорить о том, что в большей мере экологическое образование должно реализовываться именно в процессе дополнительных, внеклассных занятий (ботаника, астрономия, зоология, спорт, ремесло и т.д.), так как именно там дети отрабатывают полученные знания на практике. В школе, ориентированной на воспитание экологически грамотной деятельности у детей, должно быть многообразие мастерских, где дети смогут изучать разные ремесла, работать с материалами; лаборатории, где можно ставить опыты и эксперименты, изучать разные явления; обширный спортивный комплекс, где дети будут воспитывать в себе здоровый дух; зоны для летних классов,

амфитеатров, чтобы дети могли заниматься на свежем воздухе и быть ближе к природе; теплицы, оранжереи и общественные огороды, в которых дети смогут сами выращивать зелень и овощи. Все это поможет детям быть в гармонии с природой и не только изучать ее по учебникам, но также и познавать ее в жизни.

Также особое внимание должно уделяться пространствам, в которых дети проводят свободное от учебы время, ведь даже такие пространства могут быть «образовательными», могут стимулировать детей на самостоятельные занятия, изучение чего-то нового. Это такие места, где дети могут совмещать отдых и получение новой информации путем общения друг с другом, чтения, просмотра видеофильмов и т.д. Таким образом, подобные пространства могут дополняться зелеными «островами» в рекреационных зонах; внедрением методов ресурсосбережения в общественные пространства; площадками для проведения тематических мероприятий и «зеленых» фестивалей; панорамным остеклением и светопрозрачными перегородками, которые будут способствовать сближению учеников и природы, окружающей школу.

Важно отметить, что функциональная и образовательная программы школы должны включать в себя больше практических занятий, процессов наблюдения за разными природными явлениями, внедрение экологических правил поведения в школе и здорового образа жизни. А архитектура и организация внутренних пространств должна способствовать и помогать этим процессам.

Структура школы и ее содержание

Обновленная функциональная программа оказывает прямое влияние на пространственно-планировочное решение школ. Школьные процессы становятся более свободными, открытыми, разнообразными, и пространство образовательной среды должно им способствовать, а не стеснять деятельность учеников.

Пространство, форма, структура школы должны принять природную морфологию (формироваться по бионическим архитектурным принципам) и приблизить детей к природе, «раствориться» между ними. Должно складываться визуальное ощущение отсутствия грани между внешней и внутренней средой в общественных зонах, а само внутреннее пространство должно стать более гибким, разнообразным, адаптируемым. Творческий процесс предполагает разнообразную, активную деятельность, поэтому пространство школы должно быть способно быстро реагировать на смену внутренних процессов.

Школа должна стать подобием города [9], его моделью, на которой дети смогут отрабатывать свои навыки и наблюдать, как их поведение оказывает влияние на его жизнь.

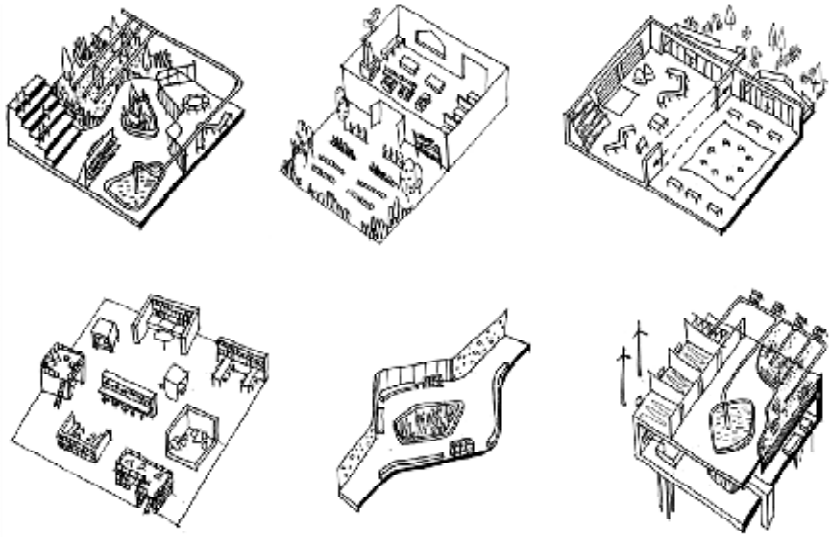


Рис. 3. Классификация школьных пространств,
в которых может реализоваться концепция экологического образования (иллюстрация авторов):
1 – зона рекреации; 2 – школьная столовая; 3 – классные помещения; 4 – библиотека;
5 – горизонтальные коммуникации; 6 – хозяйственно-техническая часть

Таким образом, концепция экологического образования может повлиять на структуру, организацию и насыщение следующих пространств (рис. 3):

- рекреация;
- школьный форум;
- классные помещения;
- пространство библиотеки;
- коммуникация;
- хозяйственно-техническая часть.

С внедрением экоориентированных методов обучения в образовательную программу, школы по своей структуре станут более гибкими и неоднородными. Экология и природа имеют неразрывную связь, поэтому пространство школы должно включать в себя природную составляющую, что означает внедрение в объемно-планировочную структуру образовательных объектов природной морфологии и природных элементов: живых растений, «зеркала» воды и бассейнов, а также сообразных архитектурных форм и свободной, сложной планировки.

Важно отметить, что наличие природных элементов в структуре школы будет благотворительно влиять на эмоциональное состояние детей, способствовать умственной и визуальной разгрузке и релаксации, а также позволит детям быть ближе к природе и лучше понимать и чувствовать ее. Природа должна стать частью жизни каждого ребенка, чтобы дети научились ценить ее и беречь.

Школа должна стать «экологической фабрикой», что означает апробацию изучаемых методов по сохранению окружающей среды на практике. Например, в школах дети должны собирать мусор, сортировать его, наблюдать за тем, как происходит процесс переработки и активно участвовать в нем. Дети с преподавателями могут выращивать овощи, ухаживать за растениями. Они должны понимать, как важно экономить энергию и водные ресурсы, и видеть, как очищается собранная вода и производится энергия, выработанная альтернативными способами. В школах должно быть введено правило пользования предметами из натуральных и перерабатываемых материалов, должны проводиться лекции на тему того, как важно заботиться об окружающей среде, и такие лекции должны проводиться не только для учеников, но и для всех желающих.

И все вышеперечисленные процессы могут найти свое отражение в архитектуре рекреационных, учебных и даже технических зон:

1) Рекреационные зоны должны наполняться объектами для духовного воспитания и общего развития. Это амфитеатры, оранжереи, «резервуары» с собранной водой и бассейны, представляющие собой зеркало воды, это открытые пространства библиотек с возможностью проведения лекций, концертов, мастер-классов, просмотра фильмов. В таких пространствах могут быть установлены небольшие прототипы станций и оборудования по сбору и переработке мусора, по очистке воды, по выработке тепла, с помощью которых дети в игровой форме смогут изучать и участвовать во всех этих процессах, чувствовать свою сопричастность к заботе об окружающей среде.

В общественной зоне могут быть реализованы некоторые уникальные архитектурно-инженерные решения, которые, подобно вышеупомянутым игровым станциям, сочетают в себе пользу, элемент обучения и игровой формат. Например, трубы, по которым вода попадает в зону очистки, затем распределяется по зданию, могут быть не в теле конструкций, а на виду и иметь прозрачные вставки, чтобы дети наглядно могли изучить этот процесс. Также интересным решением может быть сочетание столовой и огорода, где дети будут изучать процесс выращивания на грядках с самого начала до употребления в пищу.

Чтобы дети и педагоги могли следить за соблюдением правильного образа жизни, в общественных пространствах школ можно устанавливать «системы оповещения»: если в течение недели школьники соблюдали все правила, специальные отделочные панели в холле сохраняют гармоничный, зеленый цвет; однако если дети нарушали некоторые правила или не участвовали в общественной жизни школы, панели меняют цвет, давая сигнал о том, что стоит большее внимание уделить экологической деятельности.

2) Станут более сложными классные комнаты. Они также должны иметь возможность трансформироваться для уроков за учебниками или научно-практическими

экспериментами, для спокойной деятельности или учебных игр всем классом. Однако, концепция о том, что они должны быть максимально простыми по функциональному наполнению и закрытыми, чтобы внимание ребенка не рассеивалось, уходит в прошлое [10]. Теперь же пространство класса должно стать более открытым, чтобы у ребенка была связь с уличным окружением. Это необходимо, чтобы учитель всегда мог обратиться к ситуации за окном и рассмотреть природные явления с учениками на практике. Классы должны быть оборудованы террасами с возможностью выхода в дворовое пространство, а кабинеты по второму этажу могут иметь лестницы на детские площадки. Такие принципы были применены в школе «Aabybro» в Дании от бюро Cebra [11].

3) Даже технические помещения могут быть изменены в результате внедрения экологического подхода к образованию. Школа должна стать примером такого экологичного пространства: если в рекреационных зонах для детей должны быть установлены мини-станции по переработке мусора и очистке воды, сама школа должна быть обеспечена такими технологиями в реальности. Чтобы привить детям понимание того, как важно экономить ресурсы и перерабатывать отходы, дети должны получить частичный доступ к таким помещениям для наблюдения за внутренними процессами. Так, состав школы должны пополнить установки для выработки энергии, специальные котельные, помещения для сортировки мусора и т.д. Классификация хозяйственно-технических помещений расширится.

В целом, школа должна стать открытым пространством, которое будет готово научить экологически грамотной деятельности заинтересованных людей. Она должна привлекать окружающих жителей и приглашать к новому образу жизни, показывая своим примером, что это несложно и увлекательно. В школах должны появляться общественные клубы и движения, должны быть предусмотрены зоны для их собраний, проведения лекций, масштабных мероприятий и фестивалей.

Интерьеры внутреннего пространства

Интерьер – это то, что окружает нас на протяжении всего пребывания внутри здания, поэтому внутреннее пространство должно соответствовать общей концепции школы. Если школа направлена на экологическое воспитание у школьников, интерьеры внутренних пространств должны демонстрировать принцип устойчивого развития, быть выполнены в натуральных материалах, создавать благоприятный микроклимат, и иметь связь с природным контекстом.

При создании школы, ориентированной на экологический подход, необходимо учитывать следующие элементы и параметры интерьера пространств:

- материалы отделки;
- освещение;
- цветовая гамма;
- пространственная организация помещений;
- специальное оборудование и мебель.

Как уже было сказано, в классных помещениях, рекреационных и общественных зонах, по возможности, должны быть использованы натуральные материалы, чтобы дети с детства привыкали к такому окружению и идее о том, что пластик и многие другие искусственные материалы могут навредить окружающей среде.

Чтобы соблюдать правильный образ жизни, в школах нужно не только учить детей сохранению окружающей среды, но также заботиться о состоянии здоровья самих учеников. Для этого в классах и других помещениях школы должен быть обеспечен здоровый микроклимат. Поэтому во всех помещениях должна быть хорошая инсоляция, достаточное количество освещения и естественная вентиляция.

При создании интерьеров класса важно учитывать функциональность пространства, насыщая его разными обучающими элементами. Школа должна вызывать у ребенка интерес к знаниям, поэтому помещения, особенно классные комнаты, должны быть наполнены всевозможными средствами, помогающими ребенку получить новые знания и запомнить информацию, чему способствуют специальные цветовые решения (светлые тона с контрастными вставками), характер освещения, функциональность стен и т.д.

Учебные классы и общественные зоны должны иметь комфортную организацию пространства, чтобы сочетать в себе тихие и активные процессы обучения и отдыха.

Большое значение в организации пространства играет мебель. Она также может быть выполнена из натуральных материалов, некоторые элементы могут быть выполнены учениками и учителями в школьных мастерских, чтобы дети с раннего возраста учились изготавливать натуральные и экологичные предметы своими руками. Также школьная мебель должна быть мобильной и быть способной обеспечить как индивидуальный процесс обучения, так и парные, и групповые занятия [12].

Только в такой среде у ребенка будет стимулироваться интерес к знаниям и любовь к экологическому подходу в образовании. Он должен чувствовать, что заботиться о природе не сложно, что это очень интересно и естественно.

Если ребенок будет расти в таком гармоничном пространстве, правильный образ жизни станет для него осознанным выбором, от которого он уже не откажется никогда и будет также передавать свои знания другим людям.

Заключение

Пространство школы, ориентированной на экологический подход, должно показывать детям пример того, как можно рационально использовать ресурсы и почему необходимо бережно относиться к природе и к окружению. Недостаточно говорить детям о том, что нужно сортировать мусор, беречь электроэнергию, пользоваться экологически чистыми и перерабатываемыми материалами. Важно показать, почему это нужно делать. Ребенок должен увидеть результат негативной деятельности человека и осознать, как важно заботиться о планете, на которой мы живем. Поэтому, ориентированное на экологизацию, архитектурное пространство школы, которое должно стать экспериментальной моделью окружающего мира, может сыграть важную роль в вопросе воспитания экологически грамотного подрастающего поколения.

Архитектурные принципы, разработанные в ходе исследования, в совокупности могут стать основой для создания новой типологии школ, ориентированных на экологический подход. Именно образовательное пространство, наполненное всеми, предложенными в работе, решениями и принципами, может оказать благоприятное влияние на воспитание и развитие детей, создание гуманного и культурного общества, а также улучшение качества жизни на Земле.

Список библиографических ссылок

1. Гончарова Е. В. Теория и методика экологического образования детей дошкольного возраста: Курс лекций для студентов высших педагогических учебных заведений. Нижневартовск : НВГУ, 2008. 326 с.
2. Андерхилл Д., Барретт С., Бернелл П., Бернем П. Политика. Толковый словарь. М. : ИНФРА-М, Весь Мир, 2001.
3. Хруцкий К. С., Москвина Л. А. О необходимости экологизации современного образования // Вестник Новгородского Государственного Университета, 2015. № 86. Ч. 1. С. 20–22.
4. Абор Хасми Шериф. Экология и образование. Альтернативная перспективная основа экологического образования // Университет Саймона Фрайзера, 1989. 338 с.
5. Бюро Анма. Школа Святой Изадоры / URL:https://www.archdaily.com/888026/saint-isidore-school-group-extension anma (дата обращения: 06.09.2019).
6. Диксон Джонс. Школа Мальборо. URL: https://www.archdaily.com/893807/ marlborough-primary-school-dixon-jones (дата обращения: 06.09.2019).
7. Костова З. Методы успешного обучения в экологическом образовании // Eğitimde Kuram ve Uygulama Journal of Theory and Practice in Education, 2008. 30 с. URL: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.121.6513&rep=rep1&type=pdf (дата обращения: 08.09.2019).
8. Бюро BIG. Школа WeGrow. URL: https://www.archdaily.com/904957/wegrow-big (дата обращения: 08.09.2019).

9. Робинсон К., Ароника Л. Школа будущего. Как вырастить талантливого ребенка. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2016. 167 с.
10. Дмитриева В. Г. Метод Марии Монтессори // Эксмо, 2008. 224 с.
11. Бюро Cebra. Школа Aabybro / URL: https://www.archdaily.com.br/br/803707/escola-aabybro-cebra (дата обращения: 10.09.2019).
12. Денисенко Е. В. Биотехнологии в архитектуре XXI века // Известия ТПУ. 2016. С. 104–107.

Khaziakhmetova Elizaveta Viktorovna
architect
E-mail: lizagureeva.arch@gmail.com
AS «Biplan»
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Nekrasov st, 29a
Akhtiamov Ilnar Ingelevich
associate professor
E-mail: e.achti@gmail.com
Akhtiamova Rezeda Khakimovna
senior lecturer
E-mail: rezeda.akhtiamova@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The principles of greening the architectural space of a modern school

Abstract

Problem statement. The modern school should lay the desire of children to the creation of nature and the world around. Therefore, the goal of this work is to propose new architectural principles and solutions for organizing the architecture and space of the school based on the principles of environmental education.

Results. The main results of the work are to identify environmentally sound solutions for the organization of the architectural space in modern secondary schools.

Conclusion. The significance of the research results for architecture is to identify new architectural solutions for the organization of school space, which will become the basis for creating a new typology of schools with a bias in environmental education. New design principles can have a beneficial effect on the upbringing and development of children, as well as the creation of a humane and cultural society. The obtained solutions can be used as recommendations for the design of school facilities.

Keywords: school space, architecture of educational facilities, greening of school space, environmental education, educational environment, environmental education.

References

1. Goncharova E. V. Theory and methodology of environmental education of preschool children: a course of lectures for students of higher pedagogical educational institutions. Nizhnevartovsk: NVGU, 2008.326 p.
2. Underhill D., Barrett S., Burnell P., Burnham P. Politics. Explanatory dictionary. M.: INFRA-M, Ves' Mir, 2001.
3. Khrutsky K. S., Moskvina L. A. On the need for greening modern education // Bulletin of Novgorod State University, 2015. № 86. Part 1. P. 20–22.
4. Abor Hasmi Sheriff. Ecology and education. An alternative perspective basis for environmental education // Universitet Saymona Frayzera, 1989. 338 p.
5. Bureau Anma. School of St. Isadore / URL: https: //www.archdaily.com/888026/saint-isidore-school-group-extension anma (reference date: 06.09.2019).

6. Dixon Jones. Marlborough School. URL: https://www.archdaily.com/893807/marlborough-primary-school-dixon-jones (reference date: 06.09.2019).
7. Kostova Z. Methods of successful learning in environmental education // Eğitimde Kuram ve Uygulama Journal of Theory and Practice in Education, 2008. 30 p. URL: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.121.6513&rep=rep1&type=pdf (reference date: 08.09.2019).
8. The BIG Bureau. WeGrow School / URL: https://www.archdaily.com/904957/wegrow-big (reference date: 08.09.2019).
9. Robinson K., Aronika L. School of the future. How to raise a talented child. M.: Mann, Ivanov and Ferber, 2016.167 p.
10. Dmitrieva V. G., Method of Maria Montessori // Eksmo, 2008. 224 p.
11. Cebra Bureau. Aabybro School. URL: https://www.archdaily.com.br/br/803707/escola-aabybro-cebra (reference date: 10.09.2019).
12. Denisenko E. V. Biotechnology in the architecture of the XXI century // Izvestija TPU. 2016. P. 104–107.

УДК 711.2
Закирова Юлия Александровна
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: jzakirova@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Хмельницкий Денис Сергеевич
инженер-проектировщик
E-mail: khmelnitskiy.denis@bk.ru
ООО «Проектстрой»
Адрес организации: 420049, Россия, г. Казань, ул. Качалова, д. 84

Модель формирования транспортного каркаса Камской агломерации

Аннотация

Постановка задачи. Основные задачи исследования, представленного в статье, выявить факторы и тенденции пространственного развития Камской агломерации, особенности формирования транспортного каркаса территории, определить принципы формирования и размещения его основных инфраструктурных элементов (мультимодальных и логистических комплексов, транспортно-пересадочных узлов).

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выявлении принципов формирования мультимодальных, логистических комплексов и транспортно-пересадочных узлов в планировочной структуре Камской агломерации, разработке модели развития транспортного каркаса Камской агломерации.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что сформированная модель транспортного каркаса может быть использована в разработке стратегии пространственно-территориального развития Камской агломерации, актуализации схем территориального планирования муниципальных районов и генеральных планов поселений в границах агломерации.

Ключевые слова: Камская агломерация, транспортный каркас, транспортная инфраструктура, градостроительное планирование, территориальное развитие, модель транспортного каркаса.

Введение

Коммуникационные связи территорий, транспортная доступность между городами, производственными узлами, объектами инфраструктуры сегодня играют ключевую роль в развитии городских агломераций. Рационально сформированный транспортно-коммуникационный каркас определяет эффективное использование ресурсов территории, позволяет значительно улучшить экономическую обстановку региона в целом. На сегодняшний день формирование и развитие транспортного каркаса на уровне территориального планирования – актуальная тема для многих регионов России [1-3].

Теория агломерационного развития обширна. Научные труды специалистов эконом-географов Любовного В.Я., Нещадина А.А. раскрывают понятие и определяют основные этапы формирования агломераций [1, 4]. Также рассмотрены работы Лаппо Г.М., Перцика Е.Н., Волочковой И.В. изучающие структуру городских агломераций, их основные элементы и условия формирования [3-6]. Одной из основ формирования и пространственного развития агломераций во времена СССР стала концепция группового расселения. Экономическая цель концепции заключалась в создании градостроительных предпосылок для интенсификации производства в составе территориально-производственных комплексов разного типа и повышения эффективности капиталовложений в городское и сельское производство. В 1967 г. научно-исследовательскими и экспериментально-проектными институтами Государственного комитета по гражданскому строительству и архитектуре была начата комплексная разработка методов научно обоснованных долгосрочных прогнозов при создании проектов районной планировки и генеральных планов.

По вопросам формирования инфраструктурных элементов транспортного каркаса рассмотрены работы Баранова А.С., Вакуленко С.П. и др. [7, 8].

Исторические предпосылки формирования Камской агломерации

Исходя из исторических справок, можно предположить, что предпосылки развития территории были заложены в X-XII вв. Изначально в этом районе находилась переправа через Каму – составная часть торгово-караванной дороги из центра Волжской Болгарии в Прикамье и далее до Ледовитого океана. В X-XII вв. была сооружена белокаменная крепость-мечеть, ставшая архитектурной доминантой Елабужского городища, единственная достопримечательность, сохранившаяся до наших дней [9].

На территории Камской агломерации расположены города, возникшие в разные исторические периоды: Елабуга (1005-1010 гг.), Менделеевск (1868 г.), Нижнекамск (1966 г.) и Набережные Челны (1970 г.).

Елабуга как поселение появилось в 50-е гг. XVI в. в ходе колонизации Среднего Поволжья и присоединения ее к Московскому государству. Первоначально село (крепость с улицами-слободами) называлось «Трехсвятского, что на Елабуге». В 1626 г., община крестьян елабужан, основала на противоположенном берегу реки Кама новое поселение – Чалнинский починок. В 1780 г. поселение Елабуга получило официальный статус уездного города Вятской губернии. Пространственное развитие и строение города приходится на вт. пол. XIX в. после масштабного пожара [9].

Современный г. Менделеевск возник на базе поселений Бондюжский и Тихие горы. История возникновения и формирования города начинается в XVII в. До 1764 г. пос. Бондюга принадлежал Казанскому Седмиозерному монастырю, а с 1841 г. вошел в состав Краковской области. Этап активного развития начинается с 1867 г., когда был основан химический завод и поселок при нем. С 70-х гг. XIX в. завод стал основным местом приложения труда, а поселки, расположенные вблизи производства, стали основой для территориального развития. На территории поселения возникают учебные заведения и мечеть, а к концу XIX в. насчитывается около 3000 чел., проживающих в поселке Бондюжский. Период 1890-1930 гг. является значимым для территории Менделевского района. Завод П.К. Ушкова становится одним их ведущих предприятий химической отрасли России. Научным консультантом завода был Д.И. Менделеев. До 1921 г. пос. Бондюжский (и связанные с ним поселения) входил в Елабужский уезд Вятской губернии; с 1921 г. в составе Елабужского, с 1928 г. – Челнинского кантонов ТАССР [10].

Прорыв в территориальном развитии агломерации приходится на XX в.

Активная индустриализация на территории России предполагала формирование «территориальных производственных комплексов» в экономических районах страны, одним из которых стал Нижнекамский промышленный район. В 1960-1965 гг. изданы документы, по которым утвержден проект создания в северо-восточной части Татарской АССР Нижнекамского промышленного района. Основой района был крупнейший в Европе нефтехимический комплекс по переработке нефти, добывавшейся на юго-востоке ТАССР, и производству новых видов пластических масс, синтетических каучуков, а также другого углеводородного сырья для дальнейшей химической переработки. Согласно проекту районной планировки в 1959 г. был создан (утвержден в 1960 г.) генеральный план г. Нижнекамск на расчётную численность 170 тыс. человек. Автором генплана являлся В.А. Пашков, руководителем работ – Е.И. Кутырев [10]. Строительство началось с поселка строителей в 1961 г., и продолжилось стройкой энергоблока и химкомбината. Строительству был присвоен статус Всесоюзной ударной комсомольской стройки. В Елабуге было организовано шестое нефтегазодобывающее управление. Нижнекамск в 1966 г. получил статус города. В 1962 г. Гипрогором был разработан технико-экономический доклад развития производственных сил ТАССР. В 1965 г. разработан проект районной планировки Набережно-Челнинского промрайона. Эти документы предусматривали дальнейшее развитие Нижнекамского промышленного узла с включением дополнительного ряда новых производств.

Набережные Челны – один из последних городов, построенных в советский период. Создание города связано со строительством автомобильного завода КамАЗ в 1969 г. Строительству завода-гиганта и города также был присвоен статус всесоюзной стройки.

Таким образом, уже в XVII в., на территории Прикамья образовалась тесная связь между городами и поселками за счет экономических и торговых отношений. Большой прорыв в территориальном развитии приходится на конец XIX в. Существующие поселения значительно выросли в размерах: г. Елабуга и пос. Бондюжский стали производственным центром, а г. Набережные Челны, наладив водное сообщение – центром торговли. В то же время началось заселение Нижнекамского региона, на противоположенном берегу р. Камы. Между территориями поселений, помимо водного сообщения, появились устойчивые каркасообразующие элементы – дороги, которые отчетливо прослеживаются и сегодня.

До 60-х гг. XX в. поселения занимались в основном производством и сельским хозяйством. Активная индустриализация на территории России предполагала формирование «территориальных производственных комплексов» в экономических районах страны, одним из которых стал Нижнекамский промышленный район. Несомненно, тенденция образования промышленных кластеров и строительство новых городов на территории СССР, дало невероятный толчок в территориальном планировании Прикамья. Появление Нижнекамской ГЭС, связанности двух берегов, позволило наладить транспортные и трудовые связи, которые сохранились по сегодняшний день.

Современное состояние и направления развития Камской агломерации

В рамках изучения современного состояния и направлений развития Камской агломерации, были проанализированы стратегические документы территориального планирования, государственный доклад РТ за 2016 г. и 2018 г., а также аналитические данные службы государственной статистики РФ, проведен картографический и натурный анализ.

Стратегия социально-экономического развития Республики Татарстан на период до 2030 г.[1] (далее Стратегия РТ-2030) прописывает, что территория республики делится на три экономические зоны: Казанская, Камская (КамЭЗ) и Альметьевская. Границы зон совпадают с границами муниципальных образований. В состав каждой экономической зоны входят городские агломерации, соответственно – Казанская, Камская и формирующиеся Альметьевская, состоящие из центральных муниципальных образований, пояса агломерации и пояса формирующего зону влияния городских агломераций (пояса экономической зоны).

Отраслевая специализация Камской экономической зоны: нефтехимическая и химическая промышленность, автомобилестроение, электротехническая промышленность, агропромышленный комплекс. Камская агломерация, входит в состав Камской экономической зоны и территориально более компактна. Общая численность населения агломерации составляет 955 тыс. чел. Плотность населения – 165 чел./га. Географически территория Камской агломерации располагается на Северо-Востоке Республики Татарстан. Экономико-географическое положение территории агломерации между Уралом и центром России, близость к центрам сбыта продукции обеспечивает ее индустриальное развитие. В Стратегии РТ-2030 г. Камскую агломерацию позиционируют, как лидера промышленности и технологического развития, полюс роста «Волга-Кама», территорию «новой индустриализации» и развития высоких технологий.

В пространственно-территориальном отношении Камская агломерация – имеет полицентричную структуру, которая формируется четырьмя городами-ядрами: городской округ Набережные Челны (533 907 чел.), города Нижнекамск (238 879 чел.), Елабуга (73 913 чел.), Менделеевск (22 305 чел.) и поселок городского типа Камские Поляны (15002 чел.) [10]. Безусловно, ключевым ядром выступает городской округ (ГО) Набережные Челны. Кроме этого, в зону активного развития Камской городской агломерации, включены Елабужский, Менделеевский, Тукаевский и Нижнекамские муниципальные районы, находящиеся в пределах часовой транспортной доступности между собой. В Стратегии РТ-2030 также отмечается, что в перспективе участниками агломерационных процессов станут г. Мензелинск, г. Мамадыш и Заинский муниципальный район. Пространственная модель Камской агломерации формируется относительно природной оси – реки Камы, являющейся основой пространственного каркаса. Устойчивость каркаса обеспечивают

[1] http://mert.tatarstan.ru/rus/strategiya-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya.htm (дата обращения: 30.10.19).

транспортные коридоры с мостовыми переходами через Каму. Система «город-вода» играет важнейшую роль в привлекательности и связности пространства Камской агломерации.

Границы Камской агломерации практически определены Камским инновационным территориально-производственным кластером «ИННОКАМ», созданным еще в 2016 г. Все крупнейшие предприятия расположены в радиусе 30 км в городах-ядрах. В рамках кластера функционируют 20 индустриальных парков, промышленных площадок и бизнес-инкубаторов. Агро- и пищевая промышленность экономической зоны включает более 55 предприятий следующих направлений: мясокомбинаты, фермы, молочный комбинат, кондитерские, хлебобулочные изделия и т. д. По данным официального сайта, в рамках кластера занято 110 тыс. человек [11].

Как планировочный элемент в составе Камской агломерации и участник ТПК «ИННОКАМ» выделяется особая экономическая зона (ОЭЗ) «Алабуга», которая расположена в Елабужском районе РТ – в 10 км от Елабуги, в 25 км от Набережных Челнов, в 40 км от Нижнекамска и в 210 км от Казани. Занимает площадь 3903,5 га. На официальном сайте представлено 32 действующих промышленно-производственных предприятия, 6 строится и 10 в проекте. На 2019 г. ОЭЗ «Алабуга» является крупнейшей и наиболее успешной особой экономической зоной промышленно-производственного типа в России. Такая производственная нагрузка на территорию поселений и высокая загруженность личным и грузовым автотранспортом создают в городах и ближайшем окружении неблагоприятную экологическую обстановку [12-14].

Камская экономическая зона является одной из немногих, в которой располагается агломерация с населением более 1 млн чел., при этом отсутствуют города-миллионеры. В основном миграционный отток наблюдается в г. Казань, а также в центральную часть России. Основной возрастной миграционный отток населения наблюдается с 17-19 лет, это обусловлено нехваткой квалифицированных высших учебных заведений в Камской агломерации. Вместе с тем происходит подпитка городского населения агломерации за счет миграции из муниципальных районов.

Практически все города Камской агломерации, согласно Распоряжению правительства Российской Федерации о перечне моногородов (последняя корректировка август 2019 г.), являются поселениями монопрофильного типа[2]. ГО Набережные Челны отнесен к категории 1 – моногород с наиболее сложным социально-экономическим положением (в том числе во взаимосвязи с проблемами функционирования градообразующих организаций). Города Елабуга, Менделеевск, пос. Камские Поляны отнесены к категории 2 – моногорода, в которых имеются риски ухудшения социально-экономического положения. Город Нижнекамск включен в категорию 3 – моногород со стабильной социально-экономической ситуацией. В будущем список поселений монопрофильного типа планируется корректировать по итогам хозяйственно-экономической деятельности муниципалитетов в рамках реализуемой федеральной программы поддержки моногородов.

Маятниковая миграция трудоспособного населения наблюдается во всех районах агломерации. Ежедневные трудовые связи просматриваются из муниципальных районов в города-ядра, это обусловлено тем, что основные места приложения труда расположены в крупных городах агломерации. Время в пути между городами Елабуга – Набережные Челны и Менделеевск – Набережные Челны, составляет около 40 минут. Время из города Нижнекамск в Елабугу и Менделеевск, превышает 1 час.

Ежедневные маятниковые миграции между городскими поселениями и из муниципальных районов в города совершаются к местам приложения труда. Периодические и эпизодические поездки составляют меньшую часть и связаны со сферой услуг – торговля, образование, культурно-досуговые мероприятия, медицинское обслуживание.

Существующая транспортная инфраструктура Камской агломерации

Внешние и внутренние транспортные связи агломерации, влияющие на пространственное и социально-экономическое развитие Камской агломерации представлены авиа-, железнодорожным, автомобильным и водным сообщением [14].

[2] http://government.ru/docs/14051/ (дата обращения: 30.10.19).

Автомобильный транспорт

Главной транспортной осью агломерации является федеральная трасса М-7, по которой осуществляются основные межрегиональные, республиканские, а также внутриагломерационные связи. Трасса проходит по направлению от г. Казани между ОЭЗ «Алабуга» и г. Елабугой, через реку Кама по плотине Нижнекамской ГЭС, обходя г. Набережные Челны по автодороге № 1, уходит в сторону г. Уфы через Орловское кольцо. Федеральная трасса также используется жителями городов-ядер для перемещения с одного берега реки Камы на другой. Плотина Нижнекамской ГЭС является единственной переправой через реку, что затрудняет движение наземного транспорта. Транспортная доступность между городами-ядрами агломерации осуществляется по дорогам регионального значения. Можно выделить следующие направления:

- Набережные Челны – Заинск – Альметьевск; Набережные Челны – Нижнекамск;
- Елабуга – Менделеевск – Ижевск;
- Набережные Челны – Елабуга, осуществляется по федеральной трассе М-7.

В основном это двухполосные дороги, местами расширяются до 3-4 полос. Состояние дорожного покрытия пригодно для использования, ежегодно проводится мониторинг и ремонт дорожного полотна за счет регионального бюджета.

Транспортные связи из муниципальных районов в города-ядра осуществляются по автомобильным дорогам местного значения. Всего выделено 4 основных направления: две дороги местного значения из Набережных Челнов в Тукаевский район, одна из Нижнекамска в сторону Камских Полян, одна из Менделеевска в сторону плотины через р. Кама. Из городов Елабуга и Менделеевск также существуют дороги в муниципальные районы. Качество дорог местного значения находится в неудовлетворительном состоянии, это обусловлено большим потоком легкового и грузового транспорта, а также несвоевременным ремонтом дорожного полотна.

Железнодорожный транспорт

Сеть железных дорог, расположенная на территории Камской агломерации, относится к Куйбышевским железным дорогам, обслуживающим среднюю часть Поволжской экономической зоны. Линия железной дороги проходит через города Нижнекамск, Набережные Челны, Менделеевск через Нижнекамскую ГЭС. Железнодорожные линии территории работают по двум направлениям – как для пассажирских, так и для грузовых перевозок. Основным направлением является поволжская экономическая зона, а также прямое сообщение в Москву, Казань, Ульяновск, Ижевск, Бугульму, Адлер, Пермь, Волгоград, Саратов, Краснодар.

В Набережных Челнах располагается крупный железнодорожный вокзал, который круглогодично работает по двум направлениям: Москва – Круглое Поле и Пермь – Адлер. Также одно направление является сезонным, Ижевск – Адлер. Междугороднее сообщение электричками обеспечено по направлению Ижевск – Нижнекамск. Внутренние направления связывают экономические зоны республики Татарстан и используются в основном для перевозки грузов. Так, в Набережных Челнах грузовая ж/д сеть охватывает всю промышленную часть города, а также имеет выход к речному порту. С другой стороны реки Камы железнодорожная сеть проложена к ОЭЗ «Алабуга» и к г. Менделеевску. Всего в Камской агломерации насчитывается 14 пассажирских и 15 грузовых станций.

Воздушный транспорт

Авиаперевозки осуществляются из международного аэропорта «Бегишево», расположенного в Тукаевском районе, в 19 км от г. Нижнекамска и в 27 км от Набережных Челнов. Аэропорт обслуживает Камскую экономическую зону, а также активно используется жителями Удмуртской республики. Аэропорт рассчитан на пропускную способность до 400 чел./час. Просматривается тенденция роста пассажиропотока и грузооборота с 2011 г. по сегодняшний день. Наличие аэропорта на территории Камской агломерации является несомненным преимуществом для социально-экономического и пространственного развития.

Водный транспорт

Камская агломерация расположена на одном из основных водных направлений России – реке Кама. По реке существуют выходы в Азовское, Черное, Каспийское, Балтийское и Белое моря. На реке сооружены Нижнекамская ГЭС и Нижнекамское водохранилище, имеется железнодорожный и автодорожный переезды по плотине. В агломерации расположен всего один речной порт в Набережных Челнах и три пассажирских пристани в городах-ядрах. На сегодняшний день в историческом центре г. Елабуги запланировано строительство нового речного порта. Водный транспорт являются неотъемлемым компонентом для образования устойчивой логистической системы.

Главным транспортным узлом Камской экономической зоны и агломерации является г. Набережные Челны, где сходятся железнодорожные, автомобильные, воздушные и водные пути. Основной автомобильной магистралью считается федеральная трасса М-7. По данному направлению осуществляется множество грузо- и пассажироперевозок. Основная часть логистической инфраструктуры сконцентрирована в Набережных Челнах (логистические центры), что значительно усложняет процесс грузоперевозок.

Выполнив анализ существующей транспортной инфраструктуры агломерации и городов-ядер, входящих в ее структуру, выделены основные опорные точки, расположенные в границах городов. С помощью анализа транспортных потоков междугородних направлений и загруженности автомобильных дорог в городах, можно сделать вывод, что наиболее интенсивное движение приходится на территорию г. Набережные Челны, а также связь между городами находится на грани истощения. Дорожная сеть нуждается в реорганизации с включением инфраструктурных элементов транспортного каркаса, таких как транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) и транспортно-пересадочные комплексы (ТПК). Для полноценного развития территории необходимо спланировать качественную транспортную инфраструктуру с общественным внутриагломерационным транспортом, а также решить проблему связанности противоположенных берегов реки Камы. Наличие существующих транспортно-логистических центров (ТЛЦ), складов, а также реконструкция речных портов, развитие сети железнодорожного транспорта позволяют создать на территории агломерации крупный мультимодальный транспортно-логистический центр (МТЛЦ). Так как города работают в основном на экспорт, создание данного вида грузоперевозок повысит экономическую привлекательность агломерации и республики в целом.

В Стратегии РТ-2030 заложен ряд проектов, определяющих пространственное развитие Камской агломерации, направленных на повышение плотности и качества транспортных и функциональных связей, характеризующих зрелую городскую агломерацию: программа «Семь стратегических мостов Татарстана», региональные проекты: скоростная дорога «Чистый путь» и «АлаБег».

Таким образом, на сегодняшний день в Камской агломерации практически отсутствует единый транспортный каркас. Каждый город имеет свою обособленную транспортно-логистическую инфраструктуру, которая в процессе функционирования слабо координируют свои действия с ближайшим окружением. В частности, логистические центры и склады Набережных Челнов значительно отдалены от магистральных дорог (автомобильных, железнодорожных, речных), что значительно усложняет процесс организации перевозок с использованием современных инновационных центров, таких как интермодальные и мультимодальные. Выявлены следующие особенности развития поселений в составе Камской агломерации:

– моноспециализация городов;

– производство и промышленность являются главными факторами, определяющими территориальное и градостроительное планирование;

– неблагополучная экологическая обстановка (большие выбросы выхлопных газов от грузового автотранспорта);

– отсутствие свободных земельных ресурсов в границах городов-ядер агломерации;

– деформированные городские пространства, рыхлая застройка, однообразие общественных пространств и городской среды;

– неразвитый транспортный каркас агломерации, отставание развития транспортной инфраструктуры от развития производств (отсутствие 30 минутной доступности между городами-ядрами, наличие единственного автомобильного и железнодорожного перехода через реку Каму – Нижнекамская ГЭС).

Определены следующие проблемы развития транспортного каркаса Камской агломерации:

1. Транспортная логистика не обеспечивает должный уровень перевозок людей и грузов из-за отдаленного расположения логистических центров и пересадочных узлов от основных междугородних и международных транспортных коридоров, что делает их невостребованными, наличие подъездных путей только одного вида транспорта – автомобилей.

2. Снижена пропускная способность наземного вида транспорта межу городами-ядрами агломерации.

3. Низкое качество речных перевозок из-за ухудшения инфраструктуры внутренних водных путей, высокого износа речного транспорта, более динамичного развития наземного транспорта.

Модель формирования транспортного каркаса Камской агломерации

На базе мирового опыта градостроительного развития агломерационных территорий, проведенного анализа современного состояния Камской агломерации, направлений развития территории, а также анализа транспортной системы городов, сформирована градостроительная модель развития транспортного каркаса (учтены пассажиро- и грузоперевозки) [3, 14-20].

Основным направлением развития транспортной сети Камской агломерации, является усиление внутреннего транспортного каркаса проектируемой территории, для обеспечения связанности и доступности городов-ядер. В него входят следующие виды транспорта: сеть сообщения железнодорожного транспорта, наземного безрельсового транспорта и водного транспорта. На рисунке представлена модель формирования транспортного каркаса Камской агломерации.

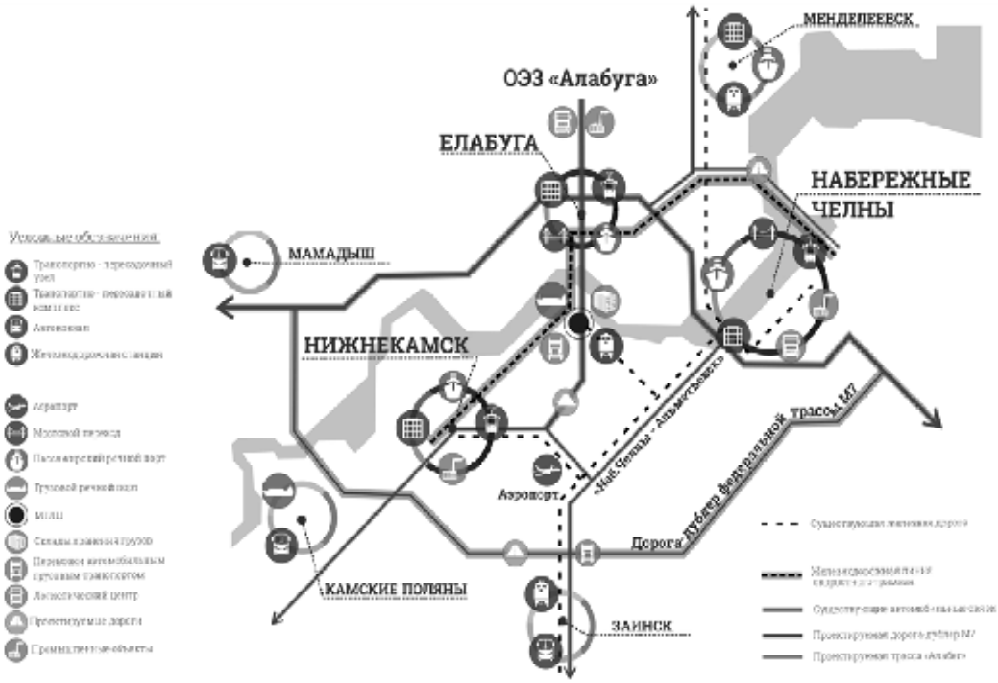


Рис. Модель формирования транспортного каркаса Камской агломерации (иллюстрация авторов)

Одним из ключевых объектов транспортного каркаса Камской агломерации является проект «АлаБег», заложенный Стратегий РТ-2030. Новая дорога с мостовым переходом протяженностью около 25 км пройдет от ОЭЗ «Алабуга» до международного аэропорта «Бегишево». Данный вид связанности городов и районов необходим в

агломерации для создания качественного рынка труда, достижения получасовой доступности между городами-ядрами, а также для прямого сообщения промышленной территории с аэропортом для уменьшения затрат на осуществление логистики воздушным видом транспорта. Реализация проекта «АлаБег» является не только транспортным решением. По сути, этим проектом формируется 2 новые планировочные оси развития агломерации, обеспечивающие более устойчивое развитие поселений между Нижнекамском и Набережными Челнами (с. Прости и с. Бетьки). Также проект «АлаБег» способен активизировать жилые и промышленные районы на западе г. Елабуги.

Формирование сети сообщения железнодорожного общественного транспорта между городами позволяет эффективно организовать передвижение населения по городу и агломерации. Проектируемая железная дорога легкорельсового транспорта (ЛРТ), протяженностью 55 км, с включением четырех транспортно-пересадочных узлов, позволяет сократить время передвижения населения внутри агломерации.

Строительство трех мостовых переходов в районе п. Соколки, станции Тихоново и города Елабуги, значительно разгрузит дорожную сеть и позволит сократить доступность внутри агломерационных и республиканских автомобильных связей. Также новые мостовые переходы привлекательны с экономической точки зрения, так как позволят составить новые, более рентабельные маршруты для транспортов грузовых компаний.

Для повышения экономической составляющей, сообщения между городами РТ и РФ, а также для туристической привлекательности, предлагается развить водный вид транспорта.

На фоне высоких темпов увеличения личного транспорта, требуется внедрение эффективного общественного транспорта и строительство комплексов, в которых удобно и рационально размещаются транспортная инфраструктура, парковки и торговые площади, а также комфортно осуществляется пересадка с одного вида транспорта на другой.

Размещение четырех ТПК, по одному в каждом городе, положительно влияет на экономическое развитие районов и поселений, на территории которых они располагаются. Влияние оказывается и на социальную составляющую данного аспекта: создание рабочих мест, строительство социально важных объектов (детских садов, медицинских пунктов, зон отдыха, и т.д.).

В ходе анализа было выявлено, что в Набережных Челнах работает несколько крупных логистических центров, имеющие собственные склады для хранения, а также большой парк автомобилей. Набережные Челны, как самый крупный город в агломерации, принимает на себя ежедневный трафик грузовых перевозок, что отрицательно сказывается на состоянии городской транспортной инфраструктуры. В модели формирования транспортного каркаса предлагается размещение мультимодального транспортно-логистического центра (МТЛЦ) по «хабовому» принципу (равноудаленный от всех промышленных предприятий агломерации и от аэропорта, с учетом возможности использования водного вида транспорта). Вынос логистических центров за пределы города, позволит разгрузить основные дороги, улучшить экологическое состояние, а также сократить затраты на грузоперевозки (с учетом сокращения пути и с использованием водного вида транспорта). Проектируемый МТЛЦ включает в себя все виды транспорта для осуществления грузоперевозок: автомобильный, железнодорожный, речной и воздушный.

Таким образом, в модели транспортного каркаса заложены линейные объекты и инфраструктурные элементы, оптимизирующие грузовые перевозки, передвижения людей (преимущественно общественным транспортом) и, в целом, увеличивающие связанность региона. Инфраструктурные элементы транспортного каркаса, направленные на эффективную работу грузового транспорта:

- МТЛЦ расположен равноудалено от городов-ядер агломерации;
- активация грузоперевозок речным сообщением;
- связь промышленной территории ОЭЗ «Алабуга» с аэропортом «Бегишево»;
- объезд Камской агломерации.

Инфраструктурные элементы транспортного каркаса, направленные на эффективную работу общественного транспорта:

- связанность городов-ядер железнодорожным скоростным трамваем;

- увеличение связанности городов-ядер за счет проекта «АлаБег» и мостового перехода в районе с. Тихоново;
- увеличение связанности городов-ядер и спутников, за счет дороги-дублера;
- станция высокоскоростной железнодорожной магистрали;
- строительство ТПК и ТПУ в городах.

Проектные решения модели транспортного каркаса направленные на эффективное экономическое хозяйствование региона Камской агломерации и взаимоувязанное пространственное развитие:

- вынос логистических центров за пределы города – улучшение экологического состояния городов, разгрузка городского транспортного каркаса;
- появление мостовых переходов – разгрузка плотины ГЭС, распределение городских потоков, уменьшение плотности существующих дорог;
- линейные объекты (автодороги) – создание новых осей для пространственного и градостроительного развития прилегающих территорий Камской агломерации.

Принципы формирования и размещения основных инфраструктурных элементов транспортного каркаса Камской агломерации

Основными инфраструктурными элементами транспортного каркаса Камской агломерации, выполняющими роль узловых (опорных) точек каркаса, являются: мультимодальные и логистические комплексы, транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) и транспортно-пересадочные комплексы (ТПК). Инфраструктурные элементы транспортного каркаса Камской агломерации, обеспечивающие связанность и непрерывность каркаса – мостовые переходы.

Выделены следующие принципы формирования основных инфраструктурных элементов транспортного каркаса Камской агломерации:

1) Функциональный принцип закладывает формирование сопутствующих функций (торговая, культурная, социальная и бытовая) для ТПК в структуре комплекса и для ТПУ в структуре прилегающих территорий, а также зонирование территории с использованием транзитных и коммуникационных пространств [15-16].

2) Принцип локализации включает интеграцию (объединение), внедрение инфраструктурных элементов транспортного каркаса в существующую городскую структуру, организацию хаба (МТЛЦ оптимально размещенного в планировочной структуре с учетом расстояний до основных предприятий, а также с возможностью использования водного коридора), а также размещение инфраструктурных элементов транспортного каркаса в соответствии со Стратегией социально-экономического развития территории региона [17-20].

3) Транспортно-коммуникационный принцип закладывает размещение объектов транспортной инфраструктуры на основе пересечения существующих магистралей разных видов общественного транспорта (транзитность), снижение временной доступности населенных пунктов, производственных объектов за счет увеличения связей (доступность), возможность использования территории с учетом организации перехватывающих парковок [17-20].

4) Эколого-ландшафтный принцип включает эколого-ландшафтное преобразование зон железнодорожных вокзалов, реабилитацию территорий городского рельсового транспорта, городских паркингов и объектов транспортной инфраструктуры города [21]. Данный принцип направлен на уменьшение выбросов выхлопных газов за счет сокращения пути из точки «А» в точку «Б», а также на использование рельсовых видов транспорта.

Дорожная карта формирования транспортного каркаса Камской агломерации

В сценарии развития транспортного каркаса Камской агломерации отражены 4 этапа формирования транспортной сети и инфраструктурных элементов (таблица). Элементы транспортного каркаса в проектном предложении позволят повысить качество внутренних связей, а также вывести Камскую агломерацию на новый уровень в экономике региона и страны, повлекут за собой пространственное развитие агломерации.

Таблица

Дорожная карта формирования транспортного каркаса Камской агломерации

Этап	Мероприятия и объекты
2020-2025 гг.	- Мостовой переход в районе с. Соколки, длина составляет 3,1 км и 14 км подъездной трассы; - Связующая трасса ядер агломерации – «АлаБег» с мостовым переходом в районе ипподрома города Елабуга, общая протяженность новой дороги, включая мост (автомобильный и железнодорожный), составит около 25 км; - ТПК «Яр Чаллы», расположенный в городе Набережные Челны (на территории существующего железнодорожного и автовокзалов). Общая площадь территории ТПК составляет 30,6 тыс. м^2, прилегающая территория (Сидоровский парк) – 91,65 тыс. м^2.
2025-2030 гг.	- Строительство железнодорожной ветки скоростного трамвая с мостовым переходом в районе с. Тихоново; - 2 ТПУ в г. Набережные Челны и г. Нижнекамск; - Многофункциональный ТПК в городе Елабуга.
2030-2035 гг.	- В рамках федеральной программы «безопасные дороги» строительство второй очереди дороги-дублера М-7 протяженностью 49 км; - Реконструкция существующего вокзала в г. Нижнекамске и организация ТПК в г. Менделеевске; - В г. Елабуге и в пос. Тихоново устройство ТПУ.
до 2040 г. долгосрочная перспектива	Строительство МТЛЦ, который включает в себя: контейнерные терминалы хранения, площадки перегрузки, склады разных типов, железнодорожный погрузочно-разгрузочный комплекс, сервис центр, терминал навалочных грузов, автомобильный комплекс, речной порт, объекты обслуживания

Заключение

Исходя из анализа исторического развития территории, выявлено, что Камская агломерация с конца XVIII в. формировалась как Елабужский уезд, позже входила в состав Татарской АССР, на каждом этапе усиливались торговые и экономические связи, формирующие транспортный каркас агломерации. В процессе изучения исторического развития, было выявлено, что предпосылки устойчивых каркасообразующих элементов – дорог, на территории Прикамья, прослеживаются с XVII века, тогда же было налажено водное сообщение. Во время процесса индустриализации XX в., строительства новых промышленных городов, повысилась связанность территории за счет Нижнекамской ГЭС и транспортных коридоров, сохранившихся по сегодняшний день.

Существующий уклад жизни жителей Камской агломерации по-прежнему подчиняется и существует в парадигме индустриального развития. Стратегическая документация также определяет промышленное развитие территории агломерации как ведущее. Но необходимо отметить, что появляются и первые признаки смены экономического уклада (пока еще не осознающиеся таковыми) – закрытие ряда крупных производств, средовые изменения, проявляющиеся в увеличении общественных пространств, появление новых объектов сферы услуг.

В стратегических документах территориального планирования поставлены задачи преобразования транспортной системы региона, но это проекты макроуровня. На уровне муниципалитетов нет цельного видения транспортно-территориального планирования, нет стыковки транспортно-территориальных решений различных масштабных уровней. Формирование модели транспортного каркаса региона должно отвечать современному экономическому этапу его развития, а также учитывать перспективы развития городов. Неизбежный рост занятости людей в сфере услуг, снижение занятости в промышленном секторе, появление новых объектов и точек роста постиндустриального сектора изменят характер городской мобильности.

Приоритетными направлениями в формировании модели транспортного каркаса Камской агломерации являются внутренние агломерационные связи общественного транспорта, направления, способствующие связанности муниципальных районов, а также повышение качества логистической инфраструктуры. С учетом высокого темпа автомобилизации, связанности городов и районов маятниковой миграцией, а также, с

точки зрения экологии, наиболее эффективным видом общественного транспорта является железнодорожный скоростной трамвай. Основными преимуществами данного вида транспорта являются сравнительная экономичность строительства, простота и низкая себестоимость эксплуатации имеющихся трамвайных вагонов, путевого хозяйства и объектов энергоснабжения, высокая скорость сообщения, большая степень надёжности и комфортабельности, почти полное отсутствие помех для других видов городского транспорта.

Список библиографических ссылок

1. Любовный В. Я. Городские агломерации России: от стихийного к целенаправленному развитию // Муниципалитет: экономика и управление. 2015. № 10. URL: http://municipal.uapa.ru/ru/rubrics/270/ (дата обращения: 30.10.2019).
2. Merkushev S. A., Khusnutdinova S. R., Popov A. V. Contemporary Transport System of Kazan and Perm: Comparative Analysis // 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 272 022247.
3. Волчкова И. В., Минаев Н. Н. Теория и практика управления развитием агломераций: монография. Томск : ТГАСУ. 2014. 234 с.
4. Нещадин А. А., Горин Н. И., Дончевский Г. Стратегическое планирование развития городов // Человек и труд. 2008. № 1. С. 42–48.
5. Лаппо Г. М. Городские агломерации СССР – России: особенности динамики в XX веке // Удобное пространство для города. 2007. № 4-5. С. 6–9.
6. Перцик Е. Н. География городов (Геоурбанистика). М. : Высшая школа, 1991. 282 с.
7. Баранов А. С. Типология транспортно-пересадочных узлов как элементов транспортно-коммуникационного пространства города // Проблемы и направления развития градостроительства: материалы Междунар. науч. практ. конф. / ЦНИИП градостроительства РААСН. М., 2013. URL: http://www.sib-science.info/news/files/oblasti-26052017/baranov-razvitiesistemytpu.pdf (дата обращения: 30.10.2019).
8. Вакуленко С. П., Евреенова Н. Ю. О классификации транспортно-пересадочных узлов // Мир транспорта. 2011. № 5. С. 130–132.
9. Тарунов А. М. Сокровища культуры Татарстана. Вып. 5. 2004. 592 с.
10. Портал муниципальных образований РТ. URL: http://msu.tatarstan.ru/rus/mregions.htm (дата обращения: 30.10.2019).
11. Камский инновационный территориально-производственный кластер «ИННОКАМ». URL: www.innokam.ru (дата обращения: 30.10.2019).
12. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2016 году / Министерство экологии и природных ресурсов. Казань. 2017. 508 с.
13. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2018 году / Министерство экологии и природных ресурсов. Казань. 2018. 402 с.
14. Федеральная государственная информационная система территориального планирования. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/ (дата обращения: 30.10.2019).
15. Vuchic Vukan R. Urban Transit Systems and Technology. John Wiley & Sons. 2007. 624 p.
16. Vuchic Vukan R. Transportation for Livable Cities. CUPR / Transaction. 1999. 376 p.
17. Mees P. Transport for Suburbia Beyond the Automobile Age. 2010. London Sterling, VA. 241 p.
18. Gunnar S. Eskeland, Somik V. Lall. A Crowded City: Agglomeration and Mobility in Urban Development, 2015. 31 p.
19. Litman T. Comprehensive Evaluation of Rail Transit Benefits. Victoria Transport Policy Institute. 2004. 53 p.
20. Stead D., Marshall S. The Relationships between Urban Form and Travel Patterns. An International Review and Evaluation. EJTIR, 1, 2001. № 2. P. 113–141.
21. Покка Е. В. Психологическое воздействие рекреационных мостов на человека в момент пребывания на них // Приволжский научный журнал. 2017. № 1. С. 129–135.

Zakirova Yuliya Aleksandrovna
candidate of architecture, associate professor
E-mail: jzakirova@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Khmelnitskii Denis Sergeevich
design engineer
E-mail: khmelnitskiy.denis@bk.ru
LLC «Proektstroy»
The organization address: 420049, Russia, Kazan, Kachalov st., 84

Model of the formation of the transport framework of the Kamsk agglomeration

Abstract

Problem statement. The main objectives of the study presented in the article are to identify the factors and trends in the spatial development of the Kamsk agglomeration, to determine the principles for the formation and placement of the main infrastructure elements of the Kamsk agglomeration transport framework (multimodal and logistics complexes, transfer hubs).

Results. The main results of the study are to identify the principles of the formation of multimodal, logistics complexes and transport hubs in the planning structure of the Kamsk agglomeration, to develop a model for the development of the transport skeleton of the Kamsk agglomeration.

Conclusions. The significance of the obtained results lies in the fact that the formed model of the transport framework can be used in developing a strategy for the spatial and territorial development of the Kamsk agglomeration, updating the territorial planning schemes of municipal districts and master plans for settlements within the boundaries of the agglomeration.

Keywords: Kamsk agglomeration, transport framework, transport infrastructure, urban planning, territorial development, model of the transport framework.

References

1. Lyubovnyy V. Ya. Urban agglomerations of Russia: from natural to targeted development // Munitsipalitet: ekonomika i upravleniye. 2015. № 10. URL: http://municipal.uapa.ru/ru/rubrics/270/ (reference date: 30.10.2019).
2. Merkushev S. A., Khusnutdinova S. R., Popov A. V. Contemporary Transport System of Kazan and Perm: Comparative Analysis // 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 272 022247.
3. Volchkova I. V., Minaev N. N. Theory and practice of agglomeration development management: monograph. Tomsk : TGASU. 2014. 234 p.
4. Neshchadin A. A., Gorin N. I., Donchevskij G. Strategic Urban Planning // Chelovek i trud. 2008. № 1. P. 42–48.
5. Lappo G. M. Urban agglomerations of the USSR – Russia: features of dynamics in the 20th century // Udobnoye prostranstvo dlya goroda. 2007. № 4-5. P. 6–9.
6. Pertsik E. N. The urban geography (geourbanistics). M. : Vysshaya shkola. 1991. 282 p.
7. Baranov A. S. Typology of transport hubs as elements of a city's transport and communication space // Problems and directions of urban development: International scientific and practical conference / CNIIP gradostroitelstva RAASN. M., 2013. URL: http://www.sib-science.info/news/files/oblasti-26052017/baranov-razvitiesistemytpu.pdf (reference date: 30.10.2019).
8. Vakulenko S. P., Evreenova N. Yu. On the classification of public conveyance transfer junctions // Mir transporta. 2011. № 5. P. 130–132.
9. Tarunov A. M. Treasures of Tatarstan culture. T. 5. 2004. 592 p.
10. Portal of municipalities of the Republic of Tatarstan. URL: http://msu.tatarstan.ru/rus/mregions.htm (reference date: 30.10.2019).

11. Kama innovative territorial industrial cluster «INNOKAM». URL: www.innokam.ru (reference date: 30.10.2019).
12. State report on the state of natural resources and on environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2016 / Ministry of Ecology and Natural Resources. Kazan. 2017. 508 p.
13. State report on the state of natural resources and on environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2018 / Ministry of Ecology and Natural Resources. Kazan. 2018. 402 p.
14. Federal State Information System for Territorial Planning. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/ (reference date: 30.10.2019).
15. Vuchic Vukan R. Urban Transit Systems and Technology. John Wiley & Sons, 2007. 624 p.
16. Vuchic Vukan R. Transportation for Livable Cities. CUPR / Transaction. 1999. 376 p.
17. Mees P. Transport for Suburbia Beyond the Automobile Age. 2010. London Sterling, VA. 241 p.
18. Gunnar S. Eskeland, Somik V. Lall. A Crowded City: Agglomeration and Mobility in Urban Development. 2011. 31 p.
19. Litman T. Comprehensive Evaluation of Rail Transit Benefits. Victoria Transport Policy Institute. 2004. 53 p.
20. Stead D., Marshall S. The Relationships between Urban Form and Travel Patterns. An International Review and Evaluation. EJTIR, 1. 2001. № 2. P. 113–141.
21. Pokka E. V. Psychological impact of recreational bridges on the person at the time of stay on them // Privolzhsky nauchniy jurnal. 2017. № 1. P. 129–135.

УДК 72.035.1
Нуреев Тагир Магданурович
директор
E-mail: ntm60@mail.ru
ООО «Зодчество»
Адрес организации: 420126, Россия, г. Казань, ул. Проспект Ямашева, д. 83
Попов Антон Олегович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: a.o.popov@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Перспективы использования трехлучевой объемно-планировочной структуры при создании жилой сетчатой застройки

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявление новых градостроительных возможностей при применении трехлучевой архитектурно-планировочной структуры в условиях изменившихся санитарных правил и норм (СанПиН) в 2017 году в центральной и южной зонах инсоляции России.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в разработке предложений для центральной и южной зон инсоляции России, позволяющей достигать максимальных нормативных показателей плотности застройки территории.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры заключается в том, что авторами определены географические границы использования жилой трехлучевой объёмно-планировочной структуры в современных условиях жилищного строительства, на основании анализа градостроительных показателей, в том числе, в условиях реновации существующей застройки территории, а также при типологии по признаку углов поворота её трёх секторов в различных азимутах сторон света.

Ключевые слова: градостроительство, инсоляция, высокоплотная жилая застройка, жилая сетчатая застройка, трёхлучевая объёмно-планировочная структура, дворовые пространства, реновация.

Введение

Применением в жилищном строительстве трехлучевой объемно-планировочной структуры архитекторы мира активно занялись в первой половине XX века. Первым стимулом явилось появление на карте мира первого социально-ориентированного государства – СССР, с его программами жилищного строительства нового социалистического быта. Следующим стимулом явилась Афинская хартия [1] (1933 г.), результатом которой стал пересмотр градостроительных принципов и целей, ключевым положением которой являлось введение в странах-участниках хартии норм инсоляции жилых помещений. На сегодняшний день самые высокие нормы инсоляции приняты в скандинавских странах Европы [2]. Заложенное Афинской хартией предложение о введении норм инсоляции были приняты и на территории России, которые были до недавнего времени достаточно высокими. Однако, в 2001 и 2017 годах, с введением в России нового СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции…», время инсоляции жилых помещений для каждой из существующих трёх зон инсоляции (южной, центральной и северной) уменьшилось на полчаса. Уменьшился на два месяца для них и период инсоляции, лишившийся марта и сентября месяцев.

Актуальность возвращения к рассматриваемой теме в России вызвана не только последним обстоятельством, но и социальной необходимостью увеличения в стране до европейского уровня нормы обеспеченности общей площади жилья на человека, равной 30,0 м^2. Для достижения этой цели необходимо построить в стране дополнительно ещё один млрд. м² общей площади жилья подойдя к цифре в 4,5 млрд м², оторвавшись от существующих 3,7 млрд м² [3]. Выполнение настоящей цели придётся достигать во всех поселениях нашей

страны не за счёт освоения земель, прилегающих к городам, а за счёт реновации застройки в существующих границах. Последнее обстоятельство особенно актуально для применения жилой трехлучевой объемно-планировочной структуры в связи с её преимуществами не только по градостроительной гибкости, но и по другим качествам, выявленным за вековой исторический период её применения, как за рубежом, так и в нашей стране.

Развитие жилой трехлучевой объемно-планировочной структуры в СССР

В индустриальном жилищном строительстве СССР и России 20 века жилая трехлучевая объемно-планировочная структура целенаправленно не реализовывалась, несмотря на имевшиеся проекты на её основе. Почему?

В связи с тем, что в СССР частная собственность на землю была отменена и, соответственно, не существовало запрета по расширению границ поселений на государственных землях. Поэтому перед госструктурами градостроительства не стояло сегодняшней проблемы по созданию высокоплотной жилой застройки вне раздвигаемых границ поселений. Кроме указанного обстоятельства, на государственном уровне существовал пиетет перед любыми новациями, в том числе градостроительными, исключающими связи с частной собственностью. В том числе на землю. Поэтому госструктуры градостроительства СССР приняли решение о внедрении в жизнь западного новомодного градостроительного типа застройки – микрорайонного. Не предполагая, что в перспективе одного-двух поколений, громадные неподконтрольные и свободные муниципальные пространства микрорайонов могут привести к образованию молодёжных криминальных групп. Как в США в 50-е годы (г. Детройт), так и в СССР в 90-е годы (г. Набережные Челны) [4]. Микрорайонный тип застройки в СССР реализовывался с помощью градостроительных норм, подразумевающих разработку однолучевых жилых секций с названиями, отражающими их отношение к геодезической сетке планеты: меридиональные, широтные. Двухлучевые типы жилых секции проектировались в виде поворотных секций, соединяющих меридиональные и широтные блок-секции на углах квартальной и микрорайонной застройки. Но внедрять двухлучевые секции на заводах стройиндустрии не спешили, требуя у госструктур отрасли документы, разрешающие проведение научно-практического эксперимента. Почему?

Первая причина: в строительной отрасли существовали нормы экономии стратегических ресурсов: металл, цемент и т.д. А в уголовном кодексе была предусмотрена ответственность за перерасход указанных ресурсов. В связи с этим были законодательно утверждены формулы экспертиз, доказывающие наличие преступного умысла. Наличие разрешения на эксперимент избавляло от уголовной ответственности.

Вторая причина: количество двухлучевых секций в микрорайоне обычно составляет не более 10-ти процентов. А финансовая прибыль стройиндустрии появляется только от большего процента использования технологической оснастки, идущей на изготовление железобетонных элементов секций. Указанная неэффективная экономика поворотных секций привела к тому, что в большинстве поселений России реализация двухлучевых секций является скорее исключением, чем правилом. Так же, как и в проектах типовых серий первых пятилеток СССР [5].

В советский период, невзирая на указанную экономическую неэффективность и индифферентность госструктур градостроительства к рассматриваемой теме, проектные разработки жилых трёхлучевых объёмно-планировочных структур велись ведущими проектными институтами страны в виде научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) [6].

Развитие жилой трехлучевой объемно-планировочной структуры в России

Возврат в конце 20 века новой России к частной собственности на землю и возможности её приобретения, а также развал экономики страны с законодательным разрешением приватизации любой недвижимости, привел к тому, что в конце 20 века земли поселений России уже имеют негосударственных собственников. В 1993 году появились федеральные законы, регулирующие отношения в сфере недвижимости – Земельный и Градостроительный Кодексы. А с ними и пересмотр (актуализация) всех нормативных документов градостроительной сферы, утверждённых в советский период.

Новые экономические условия вернули потребность в высокоплотной жилой застройке. Она напомнила о существовании трехлучевой объемно-планировочной структуры в виде СП 31-107-2004 «Архитектурно-планировочные решения многоквартирных жилых зданий», с графическим изображением двух типов трёхлучевых секций многоквартирных жилых домов, отличающихся лишь градусами углов между осями трёх глухих торцов, к которым предполагается блокировка следующих секций – одно-, двух- или трёхлучевых.

Разработанные в советский период проекты в стадии НИОКР на рубеже веков начали реализовываться в ограниченном виде – нескольких секций (рис. 1) [7].

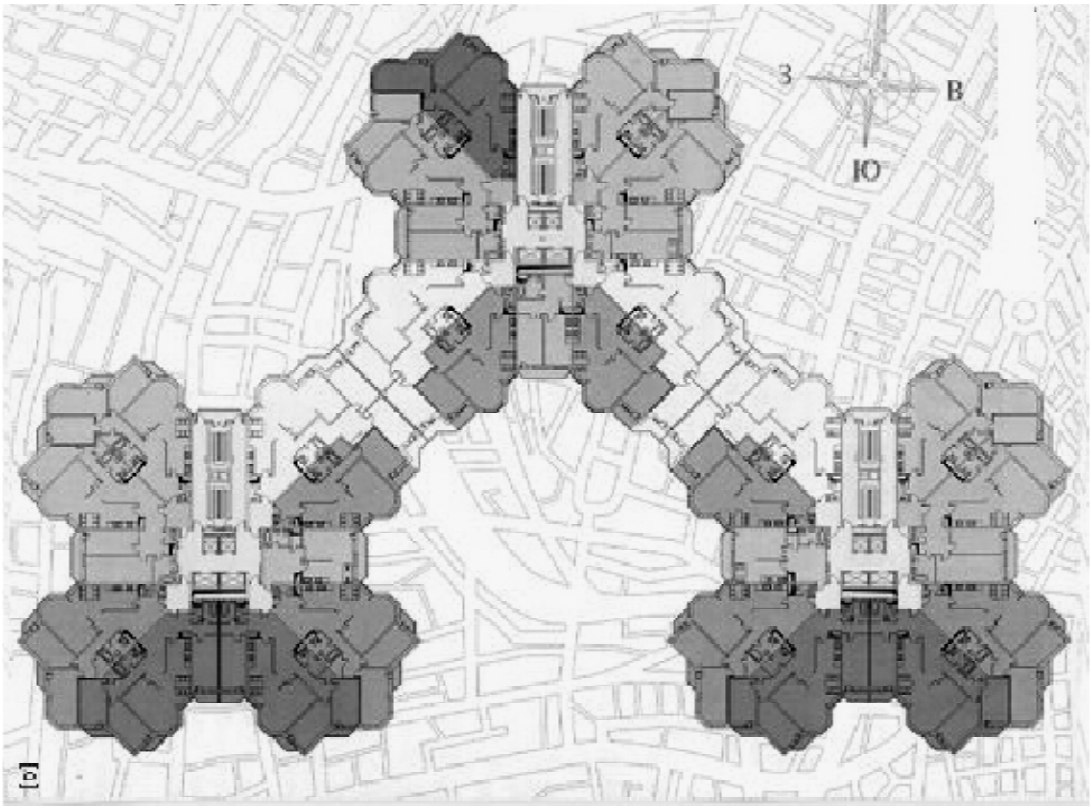


Рис. 1. ЖК «Аркада Хаус». Москва, ул. Островитянова. Арх. Ю.А. Макаров и др. [7]

Рассматривая план жилого комплекса «Аркада Хаус» (рис. 1), вспоминаются экономически неэффективные двухлучевые секции индустриального жилищного строительства СССР, описанные в начале настоящей статьи [5].

Естественно, у читателя возникнет вопрос по экономической эффективности проектирования уже трёхлучевой объёмно-планировочной структуры. Ведь у неё гораздо больше углов. 4-х лучевые структуры не рассматриваются в связи с отсутствием у них инсоляции в окнах односторонних квартир, обращённых к северу. Ответом является сам проект ЖК «Аркада Хаус». Он сделан только в виде трёх секций. При этом крайние секции – это та же центральная секция, с ликвидированными с запада и востока глухими торцами. В связи с вышеуказанным обстоятельством, одна центральная секция исполняет функции нескольких типов секций: рядовой, поворотной (угловой) и торцовой секций. В этом случае технологическая оснастка стройиндустрии будет оборачиваться не на 10 %, как это было в советской системе многообразия типологий блок-секций, а на все 100 % с одним типом блок-секции трёхлучевой объёмно-планировочной структуры. Соответственно, её экономика априори не может быть отрицательной.

Заострим особое внимание на процедуре превращения увеличенного количества сблокированных секций в иное качество. Блокировка уже реализованных трёх секций ЖК «Аркада Хаус» к торцам своих же крайних секций, приведёт к созданию нового типа градостроительного пространства – жилой сетчатой застройке (рис. 2) [7].

Трёхлучевая объёмно-планировочная структура в жилой сетчатой застройке

С появлением в СП 31-107-2004 двух типов трёхлучевой объёмно-планировочной структуры, в СП 42.13330.2016 «Градостроительство» так и не появился термин «жилая сетчатая застройка», которая не так проблемно может быть создана преимущественно с применением рассматриваемой структуры, имеющей свою морфологию, принципы формирования, методы и методологию применения.

В связи с отсутствием в профессиональных словарях термина «жилая сетчатая застройка», поясним общепринятое в профессиональной среде её понимание. Это жилая застройка по определённой многоугольной геометрической сетке, создающей замкнутые или полузамкнутые дворовые пространства, с возможностью проникновения в них транспорта и пешеходов (рис. 2).

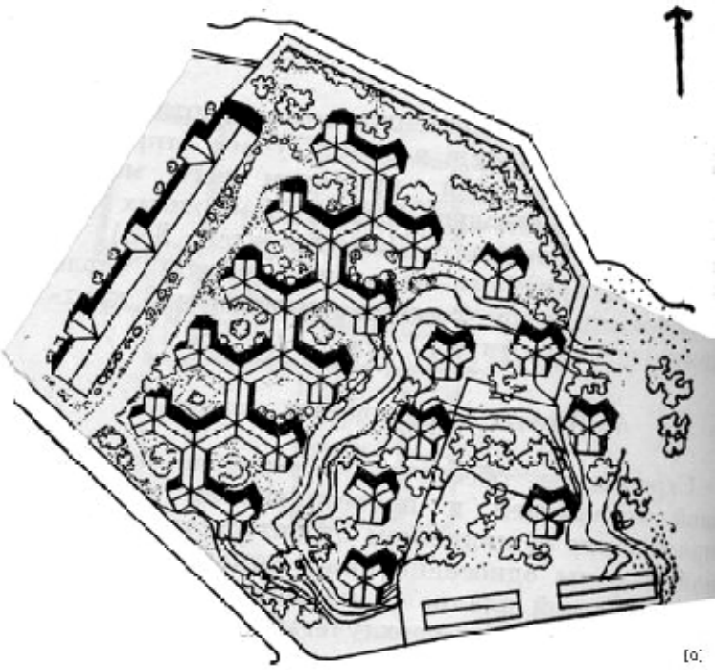


Рис. 2. Стокгольм. Швеция. Арх. Бакстрэм, Рейсмус. 1944-1946 гг. Генплан [7]

Рассмотрим попытки создания жилой сетчатой застройки из двух типов, указанных в СП 31-107-2004, трёхлучевой объёмно-планировочной структуры, чтобы понять их преимущества и недостатки. Первый тип – 90 градусные трёхлучевые секции, которые в профессиональной среде называют «Т»-образными. Второй тип – 120 градусные трёхлучевые секции, которые в профессиональной среде называют «Трилистниками».

В случае формирования сетчатой застройки широтно-меридиональной ориентации только из «Т»-образных секций, с указанными в СП 31-107-2004 типами квартир, мы получим прямоугольную сетчатую застройку в виде одной полосы дворовых территорий. В этом случае мы увидим, что квартиры односторонней ориентации во внутренних южных углах двора не будут инсолироваться. Соответственно, «Т»-образные секции имеют указанный недостаток, который возможно устранить планировочным решением квартир с двусторонней ориентацией для внутренних южных углов жилых дворов.

В случае формирования сетчатой застройки только из 120-ти градусных секций-трилистников, с указанными в СП 31-107-2004 типами квартир, мы получим шестиугольную жилую сетчатую застройку в виде пчелиных сот (рис. 2). В случае размещения 120-ти градусных секций-трилистников в центральной и южной зонах инсоляции России, с 2-х и 1,5 часовыми периодами инсоляции соответственно, возникает нарушение СанПиН – инсоляция односторонних квартир в северном секторе всех трёх лучей секций-трилистника не обеспечится в связи с их затенением двумя соседними лучами, размещёнными со стороны южного сектора.

Для пояснения этого обстоятельства рассмотрим угловую секцию-трилистник с двумя 135-ти градусными секторами на северо-западе и северо-востоке соответственно (рис. 3). В третьем северном луче секции возник инсоляционный парадокс: две однокомнатные квартиры обеспечены нормой СанПиН в выбранных зонах инсоляции за счёт действующих утренних и вечерних двух часов инсоляции.

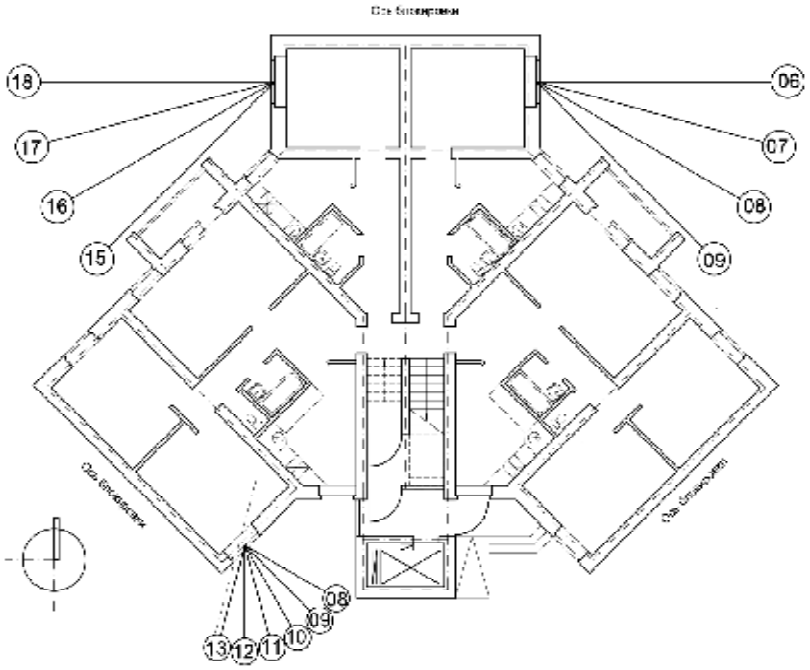


Рис. 3. Секция-трилистник для центральной и южной зон инсоляции России
(иллюстрация авторов)

Схема инсоляции, указанная на рис. 3, показывает: исключая по требованию СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования инсоляции…» утренний (с 06:00 до 07:00) и вечерний (с 17:00 до 18:00) не инсолируемые часовые периоды, инсоляция однокомнатных квартир обеспечивается как для центральной, так и для южной зон инсоляции России. Соответственно, уменьшение 135-ти градусного поворота даже одного из лучей до 120-ти градусов, нарушит нормативное требование СанПин однокомнатных квартир в вышеуказанных зонах инсоляции. Проблема инсоляции внутренних южных углов жилых дворов гексагонального типа застройки также должна решаться с помощью двусторонней ориентации квартир.

Выявленный отрицательный результат 120-ти градусных секций-трилистников был учтен в СП 31-107-2004 добавлением одного слова ко второму типу секций-трилистников – «и другие». Имеются ввиду градусы. Рассмотрим попытки создания сетчатой жилой застройки из третьего типа секций-трилистников: с 135-градусными двумя секторами. Третий сектор между оставшимися лучами будет иметь 90 градусов. В этом случае жилая сетчатая застройка будет иметь жилые дворы из двух типов многоугольников: четырёх и восьми (рис. 4).

Принцип сетчатой жилой застройки из секций-трилистников, в пропорции с 135-ти градусным поворотом одного или двух лучей, был реализован в 2006 году одним из авторов настоящей статьи (архитектором Нуреевым Т.М.) в виде реновации жилого квартала № 75 в городе Мензелинск Республики Татарстан. Заказчиком реновации выступал Внебюджетный жилищный фонд при Президенте Республики Татарстан (рис. 4). Принцип создаёт градостроительную гибкость в виде трансформации найденной правильной жилой сетчатой структуры в неправильную, но такую же симметричную: квадраты – в прямоугольники, правильные восьмиугольники – в неправильные, вытянутые в любом из выбранных направлении, за счёт дополнительных вставок блок-секций.

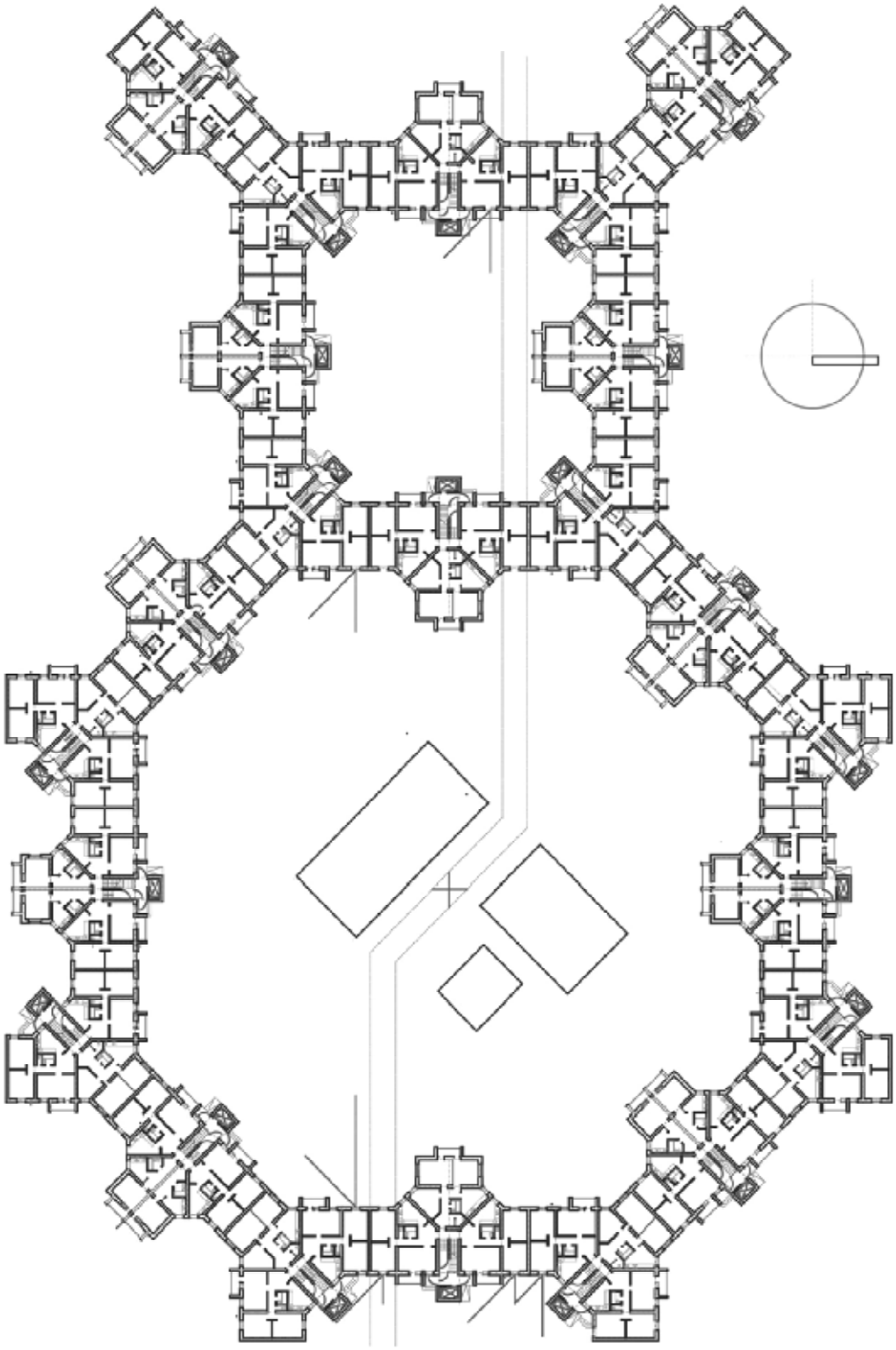


Рис. 4. Схема сетчатой жилой застройки вокруг существующих зданий (иллюстрация авторов)

Жилая трехлучевая объемно-планировочная структура в зарубежных странах

Одним из ярких зарубежных объектов последнего десятилетия, использовавшего жилую трехлучевую объемно-планировочную структуру – это «Вертикальная деревня» в Сингапуре, реализованная в 2013 году немецким архитектором Оле Шеереном (Ole Scheeren), при его работе в структуре компании OMA [8].

Концепция многофункционального комплекса, общей площадью 170 000 м² и подземной парковкой на 2600 мест, формируется из шести гексагональных дворовых

пространств, увеличивающихся по этажности к южной стороне двора, уменьшая в тропическом климате время инсоляции дворовых территорий, создавая в них прохладный микроклимат. Инновация в применении жилой трехлучевой объемно-планировочной структуры на 1000 квартир, размещённых на активном рельефе, площадью восемь гектар, заключается в том, что архитектор каждый луч шестиугольной трехлучевой объемно-планировочной структуры, превращённый в 6-ти этажный двухподъездный 70-ти метровый блок, ставит на следующий аналогичный блок против часовой стрелки вокруг гексагонального двора. Таким образом, формируется лестница из 6-ти этажных жилых блоков, по направлению граней каждого из шести гексагональных дворов. Этажность ступенчатых жилых блоков переменная: от шести до 24-х этажей.

На 120 градусных угловых пересечениях 70-ти метровых жилых блоков, находятся лестнично-лифтовые узлы, через которые жители каждого из 6-ти этажных блоков имеют возможность выйти на свою дворовую территорию, размещённую на кровле-ступеньке нижележащего аналогичного 70-ти метрового блока. В связи с тем, что каждый из блоков повторяется на каждой грани через шесть этажей, озеленённые дворовые территории на кровлях последующих блоков аналогично повторяются, удваиваясь по площади. А на южных гранях гексагональных дворов – утраиваются. Под ступенями шестиэтажных жилых блоков образуются сквозные прямоугольные проёмы высотой в шесть этажей, создавая возможность сквозного проветривания дворовых территорий.

Трехлучевая объемно-планировочная структура в реновации существующей застройки депрессивных территорий поселений России

Кроме соблюдения норм инсоляции, трехлучевая объемно-планировочная структура позволяет разнообразить градостроительные решения дворовых территорий, позволяя сформировать различные многоугольные решения с жилой сетчатой застройкой в виде любого орнамента. Вплоть до арабского.

Настоящая возможность трехлучевой объемно-планировочной структуры особенно актуальна в современных условиях реновации депрессивных территорий поселений России, предназначенных для жилищного строительства, утверждёнными проектами планировок территорий (ППТ), прошедшими общественными слушаниями жителей.

Трехлучевая объемно-планировочная структура позволяет легко находить варианты обхода земельных участков, зданий и сооружений собственников, с которыми в первую очередь строительства не удалось договориться о покупке их недвижимости для целей реновации их территории.

Третий луч в жилой сетчатой застройке даёт дополнительную площадь квартир на этаже, компенсируя финансово-экономические затраты на снос существующих зданий, сооружений и инженерной инфраструктуры.

Принцип Оле Шеерена [8] по формированию ступенчатых малоэтажных жилых блоков по граням жилых сетчатых многоугольных структур особенно целесообразен в местах существующей депрессивной застройки, предусмотренной ППТ к сносу. В связи с тем, что воздушное пространство не классифицируется как недвижимость, и, соответственно, не может обременяться в соответствии с действующим Земельным Кодексом, возникает возможность «перепрыгнуть» 70-ти метровым жилым блоком через «несговорчивого» собственника существующей недвижимости, предусмотренной к сносу. Настоящий «воздушный» урбанизм в виде жилой застройки над зданиями и сооружениями земельного участка другого собственника сегодня не оговорён в Земельном Кодексе нашей стране. В нём оговорена похожая ситуация, связанная лишь с объектами инженерной инфраструктуры (путепроводы, линии ЛЭП, трубопроводы и т.д.), расположенные в воздушном пространстве над зданиями и сооружениями земельного участка другого собственника.

Настоящее пространственное нововведение придётся ввести в действующие федеральные законы в виде двух регламентов. Первый регламент: в условиях реновации существующей застройки с применением жилой трёхлучевой объёмно-планировочной структуры, предполагаемой к применению в воздушном пространстве над зданиями и сооружениями земельного участка иного собственника, недвижимость которого предполагается к сносу законодательно утверждённым градостроительным документом –

проектом планировки территории реновации. Второй регламент: аналогичное решение для территорий нового строительства.

Заключение

Настоящая статья рассматривает применение трёхлучевой объёмно-планировочной структуры только в двух зонах инсоляции России по нескольким причинам.

Первая причина: площадь обеих зон: центральной (2-х часовой инсоляции) и южной (1,5 часовой инсоляции) страны составляет приблизительно 73 % территории России, равную 16 995 850 км² (около 17 млн км²).

Вторая причина: большинство крупнейших, крупных и больших городов России находится именно в этих двух зонах.

Третья причина: общемировая тенденция миграции сельского населения в агломерации будет стимулировать жилищное строительство России именно в этих указанных двух зонах инсоляции страны, в связи с их комфортностью проживания.

Четвёртая причина: трёхлучевая объёмно-планировочная структура, обеспечивая двухчасовую инсоляцию для центральной зоны инсоляции России, априори обеспечивает 1,5 часовую инсоляцию в южной зоне, не требуя никаких архитектурно-планировочных и конструктивных изменений жилых секций, доказывая целесообразность её применения в обеих зонах инсоляции России для федеральных жилищных программ строительства социального (стандартного) жилья [9].

Жилая сетчатая застройка из трехлучевой объемно-планировочной структуры, сформированная из секций-трилистников с секторами между лучами в пропорции 135×135×90 градусов, и с квартирами односторонней и двусторонней ориентации, обеспечит нормативные требования СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 по инсоляции только в центральной и южной зонах инсоляции России. При этом появляется возможность реализовать инсоляционный парадокс: размещение в северном луче двух однокомнатных квартир односторонней ориентации, инсолируемых с запада и востока соответственно.

Внутренняя конфигурация жилых дворов в этом случае будет формироваться из двух геометрических сеток, взаимосвязанных между собой. А именно – четырёх и восьмиугольных. Конфигурацию жилых дворов можно изменить с помощью кратного увеличения сторон вышеназванных многоугольников до восьми и шестнадцати.

В условиях реновации существующей застройки, трёхлучевая архитектурно-планировочная структура позволяет создать множество разных вариантов обхода существующих зданий и сооружений, с учётом их последующей замены на секции рассматриваемой структуры, превращая в итоге депрессивную территорию в высокоплотную жилую застройку с различной типологией квартир и этажностью секций. Настоящая градостроительная гибкость, вкупе со стопроцентным использованием изделий стройиндустрии в жилой сетчатой застройке говорит о высокой экономической целесообразности использования трехлучевой объемно-планировочной структуры, как в условиях реновации существующей застройки, так и вновь создаваемой в различных климатических условиях [10].

Описание методов и методологии создания разных типов трёхлучевых блок-секций и их классификации внутри трёхлучевых объёмно-планировочных структур малой, средней и высокой этажности предусмотрено в рамках следующей статьи рассматриваемой темы.

Список библиографических ссылок

1. CIAM (Congres Internationaux d'Architecture Moderne) // OPEN.EDU : Интернет-изд. URL: https://www.open.edu/openlearn/history-the-arts/history/heritage/ciam-congres-internationaux-darchitecture-moderne (дата обращения: 01.11.2019).
2. Шмаров И. А., Земцов В. А., Коркина Е. В. Инсоляция-практика нормирования и расчёт // Жилищное строительство. 2016. № 7. С. 48–53.
3. Многоэтажки – это токсичный актив с коротким сроком жизни // EXPERT.RU : интернет-изд. URL: https://expert.ru/expert/2019/25/mnogoetazhki---eto-toksichnyij-

aktiv-s-korotkim-srokom-zhizni/?fbclid=IwAR05-UInoqeJVQLqJIZUCcrDipFrnI4h60LpI2RGNuLPZRHi_VnucN4vWOw (дата обращения: 01.11.2019).
4. The Death and Life of Great American Cities. Vintage Books. A division of Random House. New York : February, 1993.
5. Белов А., Задорин Д., Коряковская Н., Левицкая А., Меерович М., Мойзер Ф. Мукосей И. Массовое домостроение в России: история, критика, перспективы. М., 2016. С. 42.
6. НИОКР. // DIC.ACADEMIC.RU // URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/312460 (дата обращения: 06.11.2019).
7. Дубынин Н. В. Многолучевые высотные здания в жилищном строительстве // Высотные здания. № 2. 2007. С. 78–81.
8. The Interlace // BURO-OS.COM : интернет-сайт фирмы. 2013. URL: https://buro-os.com/projects/the-interlace (дата обращения 01.11.2019).
9. Забрускова М. Ю. К современному видению городского жилища // Архитектура и строительство России. 2016. № 1-2. С. 32–37.
10. Сарвут Т. О. Принципы формирования среды обитания в арктическом регионе // Вестник МГСУ.2018. Т. 13. Вып. 2 (113). С. 130.

Nureyev Tagir Magdanurov
director
E-mail: ntm60@mail.ru
LTD «Zodchestvo»
The organization address: 420126, Russia, Kazan, Yamashev st., 83
Popov Anton Olegovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: a.o.popov@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Prospects for the use of three-beam space-planning structure in the creation of residential mesh buildings

Abstract

Problem statement. The study aims at revealing new urban possibilities in applying the three-prong design structure with changes in sanitary rules and norms (SanPiN) in 2017 in the Central and southern zones of insolation Russia.

Results. The main results of the study consist in the development of proposals for the Central and southern insolation zones of Russia, allowing to achieve the maximum normative indicators of the density of the territory.

Conclusions. The significance of the results obtained for the architecture is that the authors defined the geographical boundaries for the use of residential three-beam space-planning structure in modern conditions of housing, on the basis of the analysis of urban indicators, including in terms of renovation of existing building area, as well as the typology on the basis of the rotation angles of the three sectors in different azimuth directions.

Keywords: urban planning, insolation, high-density residential buildings, residential grid buildings, three-beam space-planning structure, yard space, renovation.

References

1. CIAM (Congres Internationaux d'Architecture Moderne) // OPEN.EDU : Интернет-изд. URL: https://www.open.edu/openlearn/history-the-arts/history/heritage/ciam-congres-internationaux-darchitecture-moderne (дата обращения: 01.11.2019).

2. Shmarov I. A., Zemtsov V. A., Korkina E. V. Insolation practice of rationing and calculation // Housing construction. 2016. № 7. P. 48–53.
3. High-rise buildings are a toxic asset with a short lifespan // EXPERT.RU: internet edition. URL: https://expert.ru/expert/2019/25/mnogoetazhki---eto-toksichnyij-aktiv-s-korotkim-srokom-zhizni/?fbclid=IwAR05-UInoqeJVQLqJIZUCcrDipFrnI4h60Lp I2RGNuLPZRHi_VnucN4vWOw (reference date: 01.11.2019).
4. The Death and Life of Great American Cities. Vintage Books. A division of Random House. New York: February, 1993.
5. Belov A., Zadorin D., Koryakovskaya N., Levitskaya A., Meerovich M., Moiser F. Mukosey I. Mass housing construction in Russia: history, criticism, prospects. M., 2016. P. 42.
6. SROCW // DIC.ACADEMIC.RU. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/312460 (reference date: 11.06.2019).
7. Dubynin N. V. Multipath high-rise buildings in housing construction // High-rise buildings. № 2. 2007. S. 78–81.
8. The Interlace // BURO-OS.COM: website of the company. 2013. URL: https://buro-os.com/projects/the-interlace (reference date: 01.11.2019).
9. Zabruskova M. Yu. To the modern vision of urban housing // Architecture and Construction of Russia. 2016. № 1-2. P. 32–37.
10. Sarvut T. O. Principles of habitat formation in the Arctic region // Vestnik MGSU. 2018. T. 13. Issue. 2 (113). P. 130.

УДК 711.168
Степанчук Алена Валентиновна
старший преподаватель
E-mail: alena.stepanchuk@bk.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Саляхова Виктория Михайловна
архитектор
E-mail: letovika@yandex.ru
МБУ «Институт «Казгражданпроект»
Адрес организации: 420079, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 35

Некоторые аспекты формирования общественных пространств, как мест коммуникации туристов и местных жителей (на примере г. Арска)

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить типы урбанизированных общественных пространств, входящие в инфраструктуру креативного туризма.

Результаты. Анализ подходов к определению креативности и ее связи с туризмом и с нематериальным культурным наследием позволил вывить типы урбанизированных общественных пространств, в которых осуществляются коммуникации и взаимодействие туристов и местных жителей. На примере проекта благоустройства пл. Советская и ул. Большая в г. Арске показаны современные подходы к благоустройству общественных пространств и включение их в сферу туризма.

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для архитектуры состоит в апробации в условиях реального проектирования методов соучаствующего проектирования и формирования общественных пространств, как мест коммуникации туристов и местных жителей.

Ключевые слова: креативность, творчество, объекты культурного туризма, нематериальное культурное наследие, креативный туризм, культурный туризм, Арск, общественное пространство.

Введение

В последние десятилетия творчество все чаще оказывается в центре внимания исследователей в различных сферах деятельности, в том числе туризма, архитектуры и экономики: «креативный туризм», «креативный опыт», «креативная экономика», «креативные индустрии», «креативные кварталы» и др. [1].

Существуют разные варианты определения понятия «творчество». Согласно Большому Российскому энциклопедическому словарю, творчество – «деятельность, порождающая нечто качественно новое и отличающаяся неповторимостью, общественно-исторической уникальностью. Творчество специфично для человека, т.к. всегда предполагает творца – субъекта творческой деятельности» [2]. В зарубежных исследованиях туризма также нет единого общепринятого определения понятия «творчество» или «креативность» [3].

Нематериальное культурное наследие, называемое в научной литературе также «живая культура» (living culture) и «живое наследие» (living heritage), связано с креативностью и представляет значительный интерес для современных туристов. Его сохранение, демонстрация и передача следующим поколениям осуществляется в процессе живого общения между людьми, осуществляемого как в зданиях, так и в общественных пространствах.

Понятие креативности в культурном туризме.

В исследованиях взаимосвязи креативности и туризма, выполненных в конце 1980-х-первой половины 1990-х годов, рассматривались процессы изменения местного сообщества и местной культуры под воздействием туризма; влияние местной

традиционной культуры на личность туриста в исследованиях не акцентировалось. Туризм рассматривался для искусства и творчества как «потенциально разрушительная сила» [4]. В исследованиях культурного туризма начала 2000-х годов подчеркивается роль «сотворчества» и «сопроизводства» потребителей – туристов и производителей – ремесленников, рассматриваются вопросы коллективного творчества, взаимного влияния туристов и местных жителей. Креативность рассматривается, как фактор развития туризма и повышения уровня экономики местности. В условиях глобализации увеличение креативных подходов к туризму также связано с экономическими и маркетинговыми стратегиями акцентирования самобытности местности, ее отличительных и, с точки зрения привлечения туристов, конкурентоспособных особенностей. Это стратегии создания и продвижения креативных индустрий, креативных городов и креативного класса [3].

С развитием информационного поля информация о местоположении, основных достопримечательностях, маршрутах и способах передвижения в той или иной точке земного шара становится широкодоступной и не характеризует в полной мере уникальность места. Для привлечения туристов, согласно исследованиям Yuwono A. A. [5], важно составлять рекламный контент на основе архитектурного контекста. Акцентом при этом могут быть исторические и стилистические особенности архитектуры дестинации, влияние природно-климатических факторов на архитектуру местности, отражение функциональных особенностей и видов деятельности коренного населения, влияние традиций и философии местных жителей на образное и объемно-пространственное решение зданий.

Несмотря на терминологическую неопределенность, популярность понятия «креативность» сегодня очень велика. Изначально креативность ассоциировалась лишь с выдающимися творческими личностями. Позже, согласно исследованиям Скотта [6], креативность стала рассматриваться гораздо шире, чем только лишь деятельность одаренных людей или членов «креативного класса».

Так в туризме выделяют четыре составляющих креативности:

- креативные люди (творцы) – художники, музыканты, писатели;
- креативные продукты – туристические туры по местам, связанным с жизнью выдающихся творческих личностей;
- креативные процессы – участие туристов в творческой деятельности, процессы сотворчества. Это наиболее ярко проявляется в креативном, ремесленном и экокультурном подвидах культурного туризма[1];
- креативная среда и креативные места – культурные и/или креативные кварталы и кластеры (cultural/creative quarter, creative clusters, creative districts) [7].

В исследовании культурного туризма Дьянос Чапо (János Csapó) [8] выделил три группы объектов:

- материальные объекты (здания, материальные предметы искусства);
- объекты, связанные с повседневной социокультурной жизнью (образ жизни, национальная кухня и др.);
- культурные события (фестивали, праздники и др.).

В пространственном отношении сосредоточение креативных производств (предложения) и потребления (спроса) образует креативные кварталы и кластеры. Эти узлы объединяют различные творческие индустрии и творческих людей с туризмом, закрепляя потоки знаний, идей, образов, информации и доходов в конкретных локальных пространствах [2].

Рост культурных и творческих событий, таких как фестивали, ярмарки, праздники, обеспечивает концентрацию творчества во времени и пространстве, которая также чрезвычайно привлекательна как для туристов, так и для местных жителей.

Становление креативного туризма, как перспективного вида туризма, ориентированного на представление нематериального культурного наследия

Первые исследования, в которых креативный туризм (creative tourism)

[1]Степанчук А.В. Особенности архитектурного формирования объектов культурного туризма с ремесленно-креативной функцией // Известия КГАСУ. 2016. № 3. С. 75-81.

рассматривался как самостоятельный вид туризма, были выполнены в 1993 году Пирсом (Pearce) и Батлером (Butler). Однако определение этого термина не было сформулировано. В 1990-е годы в европейской науке большое внимание уделялось процессам творчества не только в городах, но и в сельской местности. Так, в Финляндии, Греции и Португалии в 1996-1999 годах реализовывался проект EUROTEX по развитию ремесленного туризма, одним из авторов которого был Ричардс (Richards). Этот проект выявил растущий интерес туристов к традиционной культуре территории отдыха, к повседневной жизни местных жителей, а также спрос туристов на получение активного личного творческого опыта посредством вовлечения в культурные процессы: участие в праздниках, обрядах, обучение ремеслам.

Первое определение термина «креативный туризм» было сформулировано Ричардсом (Richards) и Раймондом (Raymond) в 2000 году и определялось как «туризм, который предлагает посетителям возможность развивать свой творческий потенциал через активное участие в курсах и в обучении, которые характерны для места отдыха, где они предпринимаются» [9, с. 17-18].

В 2004 году была создана Сеть креативных городов ЮНЕСКО (UNESCO Creative Cities Network – UCCN), которой «креативный туризм» определялся, как «путешествие, направленное на активный и аутентичный опыт, с участием в изучении искусства, наследия или особого характера места, и оно обеспечивает связь с теми, кто живет в этом месте и создает эту живую культуру» [2, с. 10]. Сегодня Сеть креативных городов ЮНЕСКО насчитывает 180 городов из 72 стран мира, которые рассматривают креативность как стратегический фактор своего устойчивого развития. Номинация происходит по следующим категориям: ремесла и народное искусство, дизайн, кинематограф, гастрономия, литература, медиа искусство и музыка [10].

На конференции ЮНЕСКО по креативному туризму, состоявшейся в 2008 году в г. Санта Фе, определение термина «креативный туризм» было уточнено: «креативный туризм – это туризм, направленный на получение туристами опыта с активным обучением искусству, изучением культурного наследия или других культурных особенностей места отдыха» [9, с. 17].

В приведенных выше определениях термина «креативный туризм» есть общие элементы: получение туристами нового опыта посредством участия в творческой деятельности и в культурных мероприятиях, а также в результате общения с местными жителями. Креативный туризм предполагает переход от пассивных к активным формам участия туристов в культурных процессах с акцентом на нематериальном культурном наследии и на «живой культуре», а не на статичном, материальном культурном наследии.

Таким образом, в креативном туризме туристы являются соисполнителями и сотворцами, развивая свои творческие способности. При этом устанавливаются равноправные отношения между туристами и местными жителями.

Популярность креативного туризма постоянно увеличивается. Всемирная Туристская Организация (ВТО) также подробно исследует процессы взаимодействия и взаимовлияния культурного наследия и туризма, а также тенденций развития различных видов туризма. В докладе по результатам исследования «Туризм и нематериальное культурное наследие», подготовленном ВТО в 2012 году, указывается, что знакомство с традиционной живой культурой сегодня является одним из основных мотивов путешествий туристов. Для реализации креативного туризма, согласно рекомендациям ВТО, необходимо создание и развитие культурных пространств, строительство центров для демонстрации нематериального культурного наследия местности, а также развитие существующих и создание новых экскурсионных туристских маршрутов, культурных событий – фестивалей, праздников и др. [11].

Развитие общественных пространств, как мест коммуникации туристов и местных жителей

С одной стороны, творчество играет важную роль в формировании впечатлений туриста, являясь неотъемлемой частью атмосферы местности, а с другой – творческая атмосфера является привлекательной для привлечения творческого класса, которому посвящены работы Р. Флориды [12]. В последние десятилетия произошло изменение роли

туристов, интересующихся нематериальными аспектами культуры других стран: из пассивных наблюдателей они стали «соавторами» своего творческого опыта. Туристы не только посещают местность, но и влияют на нее: в процессе общения с местными жителями, во время участия в традиционных праздниках и культурных событиях, при совместном творчестве происходит обмен опытом, навыками и знаниями с местным населением.

На урбанизированных территориях погружение туристов в ежедневную социокультурную жизнь местного населения, приобщение к «живому наследию» (living heritage), а также диалог членов социума между собой и с государством осуществляется в общественных пространствах. Баталина Т.С. подразделяет общественные пространства по характеру использования:

- преимущественно для публичного использования – урбанистические общественные пространства – пешеходные улицы и площади;

- традиционно приватные, но «активно приобретающие статус публичных» [13] – зеленые рекреационные общественные пространства – бульвары, скверы, парки, сады.

Таким образом, общественное пространство – это «пространство общения и социальной активности, организованное в соответствии с доминирующей функцией» [14]. Взаимодействие туристов и местных жителей с разной интенсивностью осуществляется в обоих типах общественных пространств, в зависимости от местоположения общественного пространства в структуре урбанизированной территории (центральное, срединное или периферийное), наличия рядом объектов притяжения туристов и объектов показа, трассировки туристических маршрутов и др.

Ревитализация нематериальных аспектов культуры и включение их в повседневную жизнь местных жителей является важной частью сохранения «генетической памяти» народа и способствует формированию «образа креативного города» и «имиджа местности», что отмечается, в том числе, в государственных программах и концепциях развития Российской Федерации [15].

Взаимосвязь туризма и культуры, мероприятия по развитию перспективных видов туризма предусмотрены Долгосрочными целевыми программами Республики Татарстан [16, 17]. В мастер-плане развития туризма в Республике Татарстан, который был разработан в 2014 году австрийской компанией «Kohl & Partner» [18], также отмечена необходимость включения нематериального культурного наследия народов республики в культурный имидж Татарстана. Так в г. Елабуге активно развиваются современные прогрессивные формы представления нематериального культурного наследия в индустрию туризма – интерактивные ремесленные мастерские и соучастие туристов в ремесленном процессе [19]. Татарский национальный праздник Сабантуй номинирован на включение в список нематериального культурного наследия ЮНЕСКО.

В последние годы на территории Республики Татарстан под патронажем Президента РТ Минниханова Р.Н. реализуется Программа развития общественных пространств, ставшая лауреатом престижной премии Ага Хана в области архитектуры. С 2015 года в рамках этой программы по всей республике было благоустроено 328 общественных пространства: площади, парки, скверы, бульвары, набережные, пешеходные улицы. В 2019 году предполагается реализовать еще 54 проекта благоустройства [20].

Благоустройство общественных пространств г. Арска Республики Татарстан, как фактор увеличения туристской привлекательности Арского района.

Город Арск – центр Арского муниципального района, находящийся в 60 км от города Казани. Арск обладает хорошей транспортной доступностью для туристов: город находится в пределах двухчасовой автомобильной доступности от столицы республики – г. Казани. Через Арск проходит железнодорожная ветка Казань-Екатеринбург и автомобильная трасса.

Арский район – этническое ядро татарской нации, колыбель традиционной культуры татарского народа, богатое историко-культурное наследие которого является потенциалом для развития различных видов туризма, в том числе культурного, событийного, ремесленно-креативного и др.

На территории республики Татарстан разработаны крупные федеральные и

региональные туристические маршруты, среди которых кольцевой маршрут «Жемчужное ожерелье Татарстана», состоящий из Большого и Малого колец. Малое кольцо соединяет Арск, Лаишево, Пестрецы, Свижск, Раифу и Верхний Услон, а Большое кольцо – Казань, Болгар, Елабугу, Лаишево, Чистополь.

На территории Арска действует единственный в мире музей Татарского Букваря «Алифба» и литературно-музейное объединение «Заказанье», которое входит в обширную экскурсионную программу по городу и его окрестностям, включающую ремесленные мастер-классы, дегустацию меда и татарских сладостей. В с. Новый Кырлай Арского района находится Литературно-мемориальный комплекс Габдуллы Тукая – татарского поэта, создателя татарского литературного языка. Международную известность имел ичижный промысел – производство национальной обуви в технике кожаной мозаики. В последние десятилетия, после закрытия фабрики, промысел поддерживается надомными мастерами.

Проект благоустройства общественных пространств Арска выполнен в рамках Программы развития общественных пространств Татарстана. Разработку проекта выполнило Бюро «Архитектурный десант» (Саляхова В., Никифоров Г., Фан-Юнг А., Давлетшин Г., Давлетьянова К., Хазиахметов А.), руководитель проекта – Наталия Фишман-Бекмамбетова.

На всех этапах подготовки и реализации проекта благоустройства общественных пространств Арска было обеспечено разнообразие форм участия и степени вовлечения граждан и экспертного сообщества в составление технического задания на проектирование, в разработку концепции проекта и в работы по реализации проекта. Именно местные жители определили Советскую площадь и улицу Большую, как приоритетные территории для дальнейшего развития. На общественных слушаниях была представлена презентация итоговой концепции развития общественных пространств Арска с учетом поступивших предложений всех заинтересованных лиц и организаций. Предполагается участие заинтересованных горожан в реализации части проекта.

Улица Большая – историческое ядро города Арск. Именно по ней пролегал Сибирский почтовый тракт. Площадь Советская – это «визитная карточка» города, здесь проходят праздничные мероприятия, митинги, ярмарки.

Река Казанка – памятник природы регионального значения, определившая выбор месторасположения строительства Арской крепости. Поэтому в основу концепции формирования пространства улицы положена река Казанка – река времени, истории, культуры и традиций, со знаковыми объектами культурного наследия. По замыслу авторов проекта, улица Большая станет катализатором будущего развития городской среды и появления динамичных и ярких пространств города.

Цель проекта – «создание социально ориентированной и комфортной городской среды, отвечающей современным тенденциям развития города и потребностям жителей – создание города для человека» [20].

Рис. 1. Выявление идентичности территории Арского района (Республика Татарстан) (URL: http://park.tatar/#projects)

Создание новой архитектурной среды происходит с учетом ценного архитектурного наследия, с сохранением исторического своеобразия улицы (рис. 1). На территории появятся пространства для работы социальных и культурных объектов. Площадь и улицу предлагается использовать как выставочное пространство, посвященное истории, культуре и особенностям города. Основные принципы при

проектировании комфортной среды:

- разнообразие;
- безопасная пешеходная среда;
- комфорт;
- идентичность;
- экологичность.

На основе проведенного комплексного анализа концепцией развития территории, предусмотрены следующие задачи для реализации принципов создания комфортного общественного пространства: изменение и дополнение существующей транспортно-пешеходной сети; регулирование ширины проезжей части, с учетом защитных зеленых полос в соответствии с нормативами; поэтапная реорганизация парковочного пространства; формирование комфорта пешеходных пространств; создание безбарьерной среды; создание сети велодорожек; разработка культурных дизайн-кодов и формирование на их основе малых архитектурных форм, арт-объектов и уличной мебели; формирование новых функциональных зон и площадок (детских, литературных, торговых) с размещением объектов торговли, питания, сувенирных лавок и др.

Протяженность проектируемой территории составляет 2,2 км. Территория условно поделена на 3 узла (рис. 2).

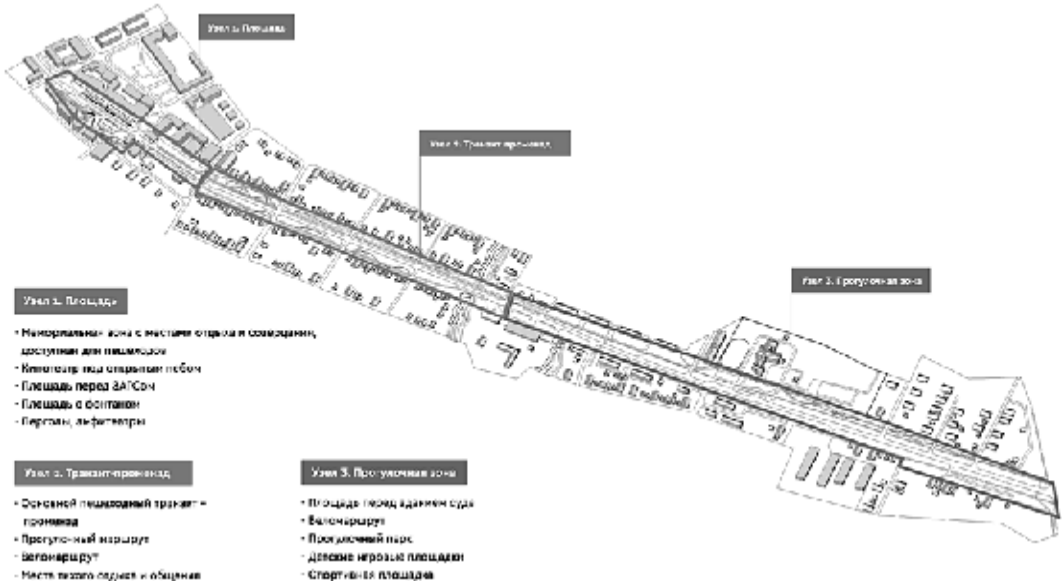


Рис. 2. Схема архитектурно-пространственной концепции
развития территории пл. Советская и ул. Большая г. Арск (Республика Татарстан)
(URL: http://park.tatar/#projects)

Первый узел «Площадь» включает в себя пл. Советская (рис. 3). На этом участке предусмотрены следующие мероприятия:

- мероприятия по озеленению территории;
- устройство комфортной безопасной пешеходной зоны;
- устройство веломаршрута;
- формирование зоны отдыха и общения;
- создание амфитеатра и сцены;
- установка пергол;
- сухой фонтан;
- активация использования смотровой башни;
- установка павильонов – остановок общественного транспорта.

Второй узел «Транзит-променад» характеризуется наличием индивидуальной жилой застройки. Проектом предусмотрены следующие мероприятия:

- озеленение участка;
- устройство дорожек;

- устройство подъездов к домам;
- продолжение устройства веломаршрута;
- установка павильонов – остановок общественного транспорта;
- обустройство зон отдыха и общения;
- размещение арт-объектов в качестве визуальных ориентиров.

Третий узел «Прогулочная зона» характеризуется жилой застройкой малой этажности и объектами социальной инфраструктуры. На этом участке предусмотрены следующие мероприятия:

- озеленение участка;
- устройство дорожек;
- устройство парковок;
- продолжение устройства веломаршрута;
- установка павильонов – остановок общественного транспорта;
- организация детских и спортивных площадок;
- обустройство зон отдыха и общения;
- установка арт-объектов.

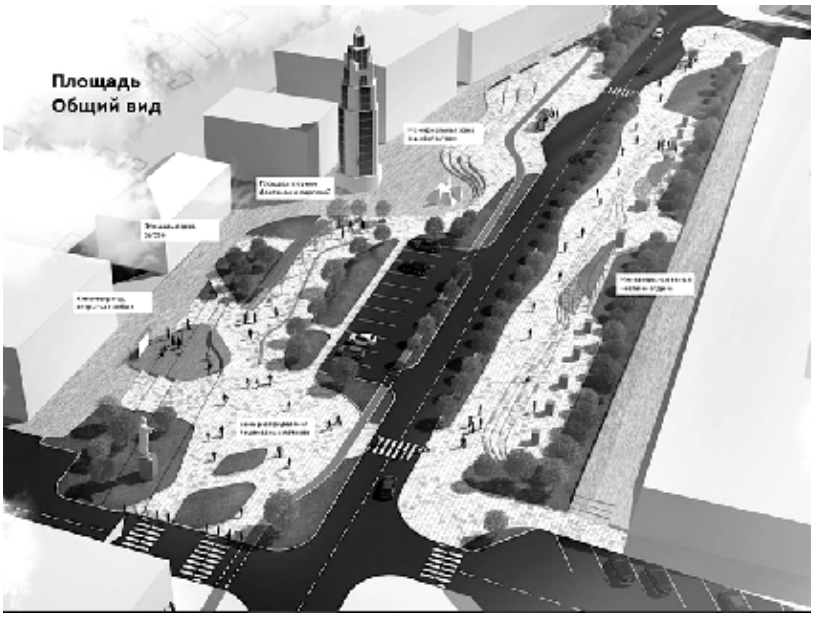


Рис. 3. Общий вид пл. Советская г. Арск (Республика Татарстан) (URL: http://park.tatar/#projects)

Формирование открытого пространства для общения и совместной деятельности жителей города позволит наладить коммуникацию людей разных поколений, интересов и уровня материального положения друг с другом, привить желание к участию в жизни своего родного города. Создание парковой зоны будет способствовать изменению восприятия местности, как горожанами, так и гостями города. Досуг на свежем воздухе будет способствовать укреплению здоровья местного населения, повышению продолжительности жизни, снижению заболеваемости. Прогнозируется увеличение численности населения, занимающегося активными видами спорта, в 2 раза.

Уникальную основу малых архитектурных объектов разработанного проекта составляет татарская национальная символика и природа родного края – цветочные мотивы. Элемент украшения прогулочной зоны аркады – цветок тюльпана – характерный элемент татарских узоров. Композиция с зеркальными беседками (рис. 4) разработана с учетом характерных черт татарских малоэтажных жилых зданий с ярким колоритом. Детская игровая площадка запроектирована в виде композиции из букв татарского алфавита (рис. 5) и элементов татарского орнамента. Предпосылкой данной идеи является создание первого букваря на татарском языке «Алифба», авторами которого являются заслуженные преподаватели-методисты из Арска – Вагизов С. и Валитова Р.

Рис. 4. Композиция с зеркальными беседками в г. Арск (URL: http://park.tatar/#projects)

Рис. 5. Детская игровая площадка – композиция из букв татарского алфавита в г. Арск (URL: http://park.tatar/#projects)

Авторами проекта были также разработаны четыре пешеходных маршрута по прилегающим территориям с выделением целевой аудитории. Культурно-событийное программирование территории содержит мероприятия, как для теплого, так и для холодного времени года. Так, инициатива ночного велопробега «Арское городище» наряду с молодежной аудиторией была поддержана людьми более старшего возраста; проект «Арский литературный дворик» рассчитан на старшую возрастную группу, но при этом в нем есть блоки для детей младшего школьного возраста.

Заключение

В результате проведенного исследования выявлено, что творчество обеспечивает содержание и атмосферу для туризма, а туризм, в свою очередь, поддерживает творческую деятельность. Растущая интеграция туризма и творчества проявляется в трактовке туризма как творческой индустрии. Эта интеграция также привела к выделению специфического вида «креативного туризма», позволяющего туристам развивать свой творческий потенциал и формировать навыки через общение с местными жителями, знакомства с традиционной культурой дестинации, участие в национальных праздниках, обрядах, мастер-классах по изготовлению предметов ремесленной деятельности и пр., в результате чего туристы становятся соисполнителями и сотворцами, развивая свои творческие способности.

В ряде мест, как в городах, так и в сельских районах, реализуются конкретные инициативы в области творческого туризма. В результате реализации проекта в г. Арске Республики Татарстан повысится культурный и событийный потенциал общественного

пространства города, эффективность ее использования, увеличится ее привлекательность не только для горожан, но и для туристов.

Таким образом, на примере общественного пространства в г. Арске показана актуальность формирования и развития урбанизированных общественных пространств, имеющих социокультурную ценность и туристическую привлекательность.

Список библиографических ссылок

1. Хуснутдинова С. Р., Закирова Ю. А. Городская среда как необходимое пространственное условие развития активного образа жизни и активного туризма // Современные проблемы сервиса и туризма. 2017. Т. 11. № 3. С. 59–70.
2. Большой Российский энциклопедический словарь. М. : Большая рос. энцикл. 2003. 1887 с.
3. Richards G. Creativity and tourism: the state of the art // Annals of Tourism Research. 2011. Vol. 38. URL: https://www.academia.edu/3070326/Creativity_and_tourism_in_the_city (reference date: 01.05.2019).
4. Hughes H. L. Tourism and the arts : A potentially destructive relationship? // Tourism Management. 1989. № 10. P. 97–99.
5. Yuwono A. A. Tourism promotion content through architecture context // Journal of Tourism, Hospitality and Environment Management. 2018. Vol. 3. Iss. 8. P. 74–83.
6. Scott A. J. Cultural economy and the creative field of the city // Geografiska Annaler: Series B. Human Geography. 2010. № 92. P. 115–130.
7. Evans G. L. From cultural quarters to creative clusters – creative spaces in the new city economy // The sustainability and development of cultural quarters: international perspectives. Stockholm : Institute of Urban History, 2009. P. 32–59.
8. Csapó J. The Role and Importance of Cultural Tourism in Modern Tourism Industry // Strategies for Tourism Industry – Micro and Macro Perspectives. InTech. 2012. P. 201–232.
9. Richards G., Wilson J. Tourism development trajectories: from culture to creativity? // Tourism, Creativity and Development. Oxford : Routledge, 2007. P. 323.
10. Creative Cities Map // https://EN.UNESCO.ORG : the official website of the UNESCO Creative Cities Network. URL: https://en.unesco.org/creative-cities/creative-cities-map (дата обращения: 01.05.2019).
11. UNWTO Study on tourism and intangible cultural heritage: Summary // ETHICS.UNWTO.ORG : the official website of the World Tourism Organization (UNWTO). URL: http://ethics.unwto.org/publication/study-tourism-and-intangible-cultural-heritage (дата обращения: 01.05.2019).
12. Florida R. The Rise of the Creative Class: And How It's Transforming Work, Leisure, Community and Everyday Life. New York : Basic Books, 2003. 404 p.
13. Баталина Т. С. Анализ особенностей формирования общественного пространства // Бизнес и дизайн ревю. 2017. Т. 1. № 1 (5). С. 11–19.
14. Гельфонд А. Л. Общественное здание и общественное пространство. Дуализм отношений // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 20–33.
15. Концепция сохранения и развития нематериального культурного наследия народов Российской Федерации на 2009-2015 гг.: (офиц. текст: утверж. приказом Мин. Культуры РФ от 17.12.2008 г. № 267) // MKRF.RU : официальный сайт Министерства культуры Российской Федерации. URL: http://mkrf.ru/dokumenty/order /detail.php?ID=120103 (дата обращения: 01.05.2019).
16. Развитие сферы туризма в Республике Татарстан на 2014-2020 гг.: (долгосроч. целев. программа: утверж. пост. Каб. Министров РТ от 21.07.2014 г. № 522) // TOURISM.TATARSTAN.RU : официальный сайт Государственного комитета Республики Татарстан по туризму. URL: http://tourism.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_260971.pdf (дата обращения: 01.05.2019).
17. Стратегия развития сферы туризма в Республике Татарстан до 2021 года и плановый период до 2030 года : (офиц. текст: утверж. приказом Гос. Комитетом Республики Татарстан по туризму от 24.07.2017 г. № 109) // http: //

CESI.TATARSTAN.RU : официальный сайт ГБУ «Центр экономических и социальных исследований Республики Татарстан при Кабинете Министров Республики Татарстан». URL: http://cesi.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_1052563.pdf (дата обращения: 01.05.2019).
18. Мастер-план развития туризма Республики Татарстан // TOURISM.TATARSTAN.RU : официальный сайт Государственного комитета Республики Татарстан по туризму. URL: http://tourism.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_234256.pdf (дата обращения: 01.05.2019).
19. Музеи и туризм: интеграция музеев в туристическую индустрию. Опыт Елабужского государственного музея-заповедника // ELABUGA.COM : официальный сайт Елабужского государственного историко-архитектурного и художественного музея-заповедника. URL: elabuga.com/downs/doklad_rudenko.rtf (дата обращения: 01.05.2019).
20. Парки и скверы Татарстана. URL: http://park.tatar (дата обращения: 01.10.2019).

Stepanchuk Alena Valentinovna
senior lecturer
E-mail: alena.stepanchuk@bk.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Salyakhova Viktoria Mikhaylovna
architect
E-mail: letovika@yandex.ru
MBU «Institute «Kazgragdanproekt»
The organization address: 420079, Russia, Kazan, Dostoevskiy st., 35

Some aspects of formation of public spaces as a place of communication of tourists and local residents (on the example of Arsk)

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the types of urbanized public spaces included in the infrastructure of creative tourism.

Results. The analysis of approaches to the definition of creativity and its connection with tourism and intangible cultural heritage allowed us to identify the types of urbanized public spaces in which communication and interaction between tourists and local residents is carried out. On the example of the project of urban planning of Sovetskaya square and Bolshaya street modern approaches to improvement of public spaces and their inclusion in the sphere of tourism are shown.

Conclusions. The significance of the obtained results for architecture consists in approbation in the conditions of real design of methods of participating design and formation of public spaces as a place of communication of tourists and local residents.

Keywords: creativity, creativity, objects of cultural tourism, intangible cultural heritage, creative tourism, cultural tourism, Arsk, public space.

References

1. 1. Khusnutdinova S. R., Zakirova Yu. A. Urban environment as a necessary spatial condition for the development of an active lifestyle and active tourism // Sovremennyye problemy servisa i turizma. 2017. Vol. 11. № 3. P. 59–70.
2. 2. The Big Russian Encyclopedic Dictionary. M.: Big. encyclical. 2003.1887 p.
3. Richards G. Creativity and tourism: the state of the art // Annals of Tourism Research. 2011. Vol. 38. URL: https://www.academia.edu/3070326/Creativity_and_tourism_in_the_city (reference date: 01.05.2019).
4. Hughes H. L. Tourism and the arts : A potentially destructive relationship? // Tourism

Management. 1989. № 10. P. 97–99.
5. Yuwono A. A. Tourism promotion content through architecture context // Journal of Tourism, Hospitality and Environment Management. 2018. Vol. 3. Iss. 8. P. 74–83.
6. Scott A. J. Cultural economy and the creative field of the city // Geografiska Annaler: Series B. Human Geography. 2010. № 92. P. 115–130.
7. Evans G. L. From cultural quarters to creative clusters – creative spaces in the new city economy // The sustainability and development of cultural quarters: international perspectives. Stockholm : Institute of Urban History, 2009. P. 32–59.
8. Csapó J. The Role and Importance of Cultural Tourism in Modern Tourism Industry // Strategies for Tourism Industry – Micro and Macro Perspectives. InTech. 2012. P. 201–232.
9. Richards G., Wilson J. Tourism development trajectories: from culture to creativity? // Tourism, Creativity and Development. Oxford : Routledge, 2007. P. 323.
10. Creative Cities Map // https://EN.UNESCO.ORG : the official website of the UNESCO Creative Cities Network. URL: https://en.unesco.org/creative-cities/creative-cities-map (reference date: 01.05.2019).
11. UNWTO Study on tourism and intangible cultural heritage: Summary // ETHICS.UNWTO.ORG : the official website of the World Tourism Organization (UNWTO). URL: http://ethics.unwto.org/publication/study-tourism-and-intangible-cultural-heritage (reference date: 01.05.2019).
12. Florida R. The Rise of the Creative Class: And How It's Transforming Work, Leisure, Community and Everyday Life. New York : Basic Books, 2003. 404 p.
13. Batalina T. S. Analysis of features? the formation of public space // Business and Design Review. 2017.Vol. 1. № 1 (5). P. 11–19.
14. Gelfond A. L. Public building and public space. Dualism respect? // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2015. № 2. P. 20–33.
15. The concept of preservation and development of the intangible cultural heritage of the peoples of Russia? Federation for 2009-2015: (official text: approved by order of the Ministry of Culture of the Russian Federation of December 17, 2008 № 267) // MKRF.RU: official website of the Ministry of Culture of the Russian Federation. URL: http://mkrf.ru/dokumenty/order /detail.php?ID=120103 (reference date: 05.01.2019).
16. Development of the tourism sector in the Republic of Tatarstan for 2014-2020: (long-term target program: approved post. Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan dated July 21, 2014 № 522) // TOURISM.TATARSTAN.RU: official website of the State Committee of the Republic of Tatarstan on tourism. URL: http://tourism.tatarstan.ru/eng/file/pub/pub_ 260971.pdf (reference date: 05.01.2019).
17. The development strategy of the tourism sector in the Republic of Tatarstan until 2021 and the planning period until 2030: (official text: approved by order of the State Committee of the Republic of Tatarstan on Tourism dated July 24, 2017 № 109) // http: // CESI .TATARSTAN.RU: official website of the State Budgetary Institution «Center for Economic and Social Research of the Republic of Tatarstan under the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan». URL: http://cesi.tatarstan.ru/eng/file/pub/pub_ 1052563.pdf (reference date: 05.01.2019).
18. Master plan for the development of tourism of the Republic of Tatarstan // TOURISM.TATARSTAN.RU: official website of the State Committee of the Republic of Tatarstan on tourism. URL: http://tourism.tatarstan.ru/eng/file/pub/pub_ 234256.pdf (reference date: 05.01.2019).
19. Museums and tourism: the integration of museums in the tourism industry. The experience of the Elabuga State Museum-Reserve // ELABUGA.COM: official site of the Elabuga State Historical, Architectural and Art Museum-Reserve. URL: elabuga.com/downs/doklad_rudenko.rtf (reference date: 05.01.2019).
20. Parks and squares of Tatarstan. URL: http://park.tatar (reference date: 01.10.2019).

УДК 72.1
Шаймарданова Камилла Айратовна
архитектор
E-mail: shaimardanova.c@gmail.com
ООО АПМ «ВЕЛП»
Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Щапова, д. 13
Прокофьев Евгений Иванович
кандидат архитектуры, профессор
E-mail: dirarx1@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Транспортно-пересадочный узел как градообразующий фактор развития периферийных территорий

Аннотация

Постановка задачи. Статья посвящена анализу транспортно-пересадочных узлов на периферийных городских территориях, как одного из ключевых аспектов его развития. Представлен анализ международного и отечественного опыта на предмет выявления особенностей развития периферийных территорий путем организации на них транспортно-пересадочных кластеров.

Результаты. Формирование транспортно-пересадочных узлов на периферийных территориях города влечет за собой развитие инфраструктуры, строительство новых объектов и увеличение мест приложения труда, тем самым задавая новый вектор развития города, а также позволяя грамотно организовывать, планировать и решать градостроительные задачи.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что организация современных транспортно-пересадочных узлов на периферийных территориях города является вектором их развития. Транспортно-пересадочный узел, соответствующий новым требованиям и возможностям транспортной инфраструктуры – является новым центром притяжения для жителей города, инвесторов и застройщиков.

Ключевые слова: транспортно-пересадочный узел, периферийные территории, транспортная инфраструктура, транспортный узел, транспортно-логистический кластер.

Введение

Причинами образования и формирования периферийных территорий города послужили многие аспекты, характерные для начала XX века. Из них можно отметить последствия роста городов, глобализацию, научно-техническую революцию, урбанизацию, маятниковую миграцию населения в городские населенные пункты. Основным наполнением периферийных территорий стали промышленные территории, производственные комплексы, складские объекты, сооружения внешнего транспорта, путей внегородского и пригородного сообщения. Массовая экстенсивная застройка послужила одной из причин для обеспечения жильем работников предприятия. Однако, стремительный рост городов, неравномерное освоение прилегающих территорий, экстенсивная застройка приводят к множеству проблем для жизнедеятельности населения. Это влияет на отсутствие инфраструктуры, мест приложения труда, отсутствие транспортной доступности, мест проведения досуга.

Организация транспортно-пересадочного узла на периферийной зоне города является одним из ключевых факторов его развития. Образование и размещение деловых центров вокруг крупных транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) влияет на организацию и увеличение мест приложения труда, на развитие инфраструктуры прилегающих территорий. ТПУ может быть центром притяжения, региональным и деловым центром, привлекающим не только пользователей транспортных услуг, но и жителей окружающей территории, использующих его инфраструктуру. Размещение ТПУ на периферийных территориях городов является фактором их градостроительного развития, интенсификации использования территорий [1].

Транспортно-пересадочный узел. Понятие, характеристики, виды

Организация внутреннего транспорта в современных городах формируется согласно ряду аспектов: росту численности населения, развитию промышленности, урбанизации. Одна из важнейших проблем сегодня – связь внешних автомобильных дорог с городом.

На сегодняшний день транспортно-пересадочный узел служит многофункциональным центром. ТПУ – общественное пространство, включающее в себя объединение различных видов транспорта, обеспечивающее район социальной инфраструктурой. Формирование транспортно-пересадочного узла происходит за счет пересечения и разветвления линий внешнего и городского транспорта вместе с объектами их обслуживания, устройствами, сооружениями.

В состав транспортного узла в различных комбинациях входят:

1) узлы железнодорожного транспорта;

2) узлы автодорожного транспорта;

3) воднотранспортные узлы;

4) узлы воздушного транспорта;

5) узлы пересечения внутреннего городского;

6) метрополитен, включая станции для посадки и высадки пассажиров, входные группы, пути, платформы и прочее.

Кроме транспортной функции, современные ТПУ выполняют и множество культурных, образовательных и социальных функций. Стандартный набор объектов, возможных для размещения в транспортно-пересадочном узле, отсутствует. Каждый ТПУ индивидуален и уникален. Место и функциональную составляющую сооружения определяют специалисты, проектировщики. ТПУ становятся многофункциональными. В их составе появляются пункты полиции, медпункты, театры, офисы, магазины, жилье. Планировочное решение проектируемого объекта позволяет пассажирам совершать беспрепятственное перемещение. Разрабатывается функциональное зонирование внутренних пространств, оборудуются распределительные залы для посетителей, учитывая движение пассажиров в одном направлении, рассчитывается ширина коридоров и перронов [2].

Аэротрополис

Наиболее перспективной современной градостроительной моделью является аэротрополис. Впервые этот термин был употреблен нью-йоркским художником Николасом Де Сантисом в 1939 г. в его фантастических проектах аэропорта на крышах небоскреба. В терминологии урбанистов, архитекторов и проектировщиков данный термин был введен экономистом, доктором социологии и профессором Джоном Касардой в 2000 году. Ему принадлежит цитата: «Раньше города создавали себе аэропорты. Аэротрополисы переворачивают наше представление: теперь аэропорт создаёт себе город» [3]. Максимально приближёнными к теоретической модели аэротрополиса можно считать аэропорт Сингапура Changi и аэропорт Сеула Incheon.

Аэротрополис является деловым и региональным центром, служащий не только транспортным узлом, но и центром притяжения для жителей окружающей территории, которые могут использовать его инфраструктуру (рис. 1). Статистика эксплуатации и организации аэротрополисов в мегаполисах насчитывает более 70 подобных объектов в мире. Наиболее активно их внедряют в Северной Америке, на Среднем Востоке, и в Азии.

Лидирующие позиции в создании аэротрополисов занимают Соединенные Штаты Америки и страны Востока. В Российской практике отмечаются перспективы формирования подобных градообразующих моделей, что способствует включению РФ в ряд перспективных стран по созданию аэротрополисов.

Реализация проекта «Аэротрополис-Домодедово» началась в 2012 году. Аэротрополис-Домодедово, как драйвер развития аэропорта и региона. Аэропорт «Домодедово» обладает одним из крупнейших резервов земли и большим потенциалом по увеличению пассажиропотока. Домодедово обладает самым большим пулом зарезервированных территорий среди аэропортов Европы – более 16 000 га. Около 9 га будут отданы на развитие аэропорта, 7 га – под развитие аэротрополиса. Сюда будут включены строительство взлетно-посадочных полос и застройка аэротрополиса. Концепция кластерной застройки разработана

с учетом успешного мирового опыта развития земель, прилегающих к аэропорту, и включает в себя бизнес-парк, торговый кластер, отдельно-рекреационный кластер, экспо-кластер, агро-кластер, индустриальный кластер. На сегодняшний день уже открыто и реализовано несколько девелоперских проектов на территории Аэротрополиса Домодедово. В рамках развития Аэропорт-Сити была построена фабрика бортового питания LSG Sky Chefs Rus, которая функционирует с 2013 года, имеет площадь участка 1409 м^2, а площадь застройки – 1271 м^2; многоуровневый паркинг, расположенный в Аэропорт-Сити; складской комплекс, расположенный в Аэропорт-Сити; Бизнес-центр и гостиничный комплекс; логистический кластер Карго-деревня (рис. 2).

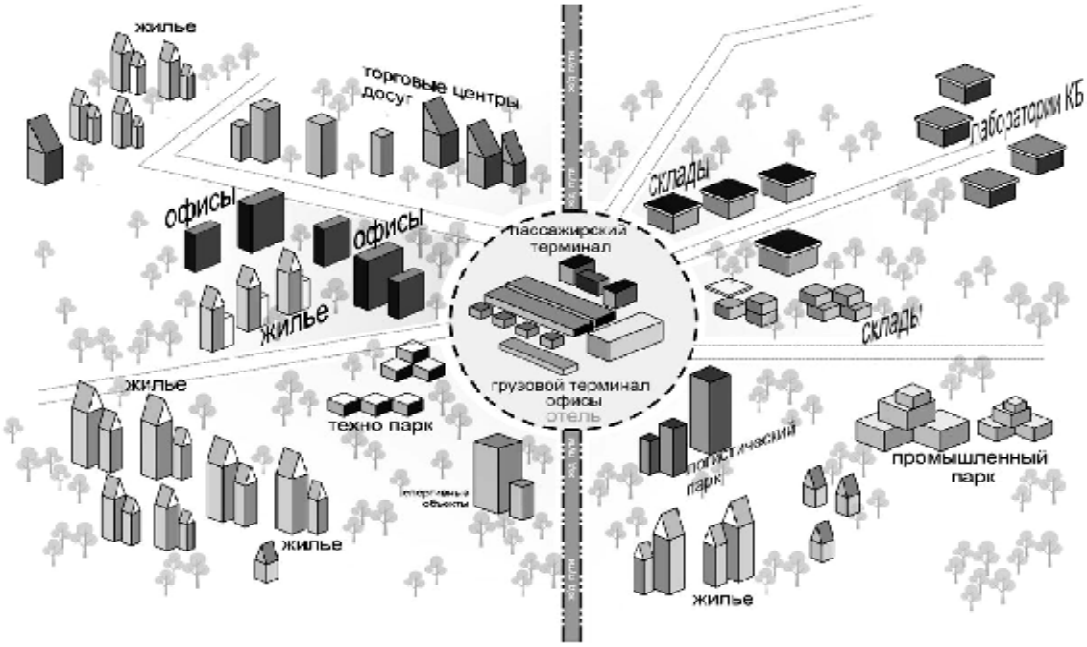


Рис. 1. Функциональное наполнение Аэротрополисов (иллюстрации авторов)

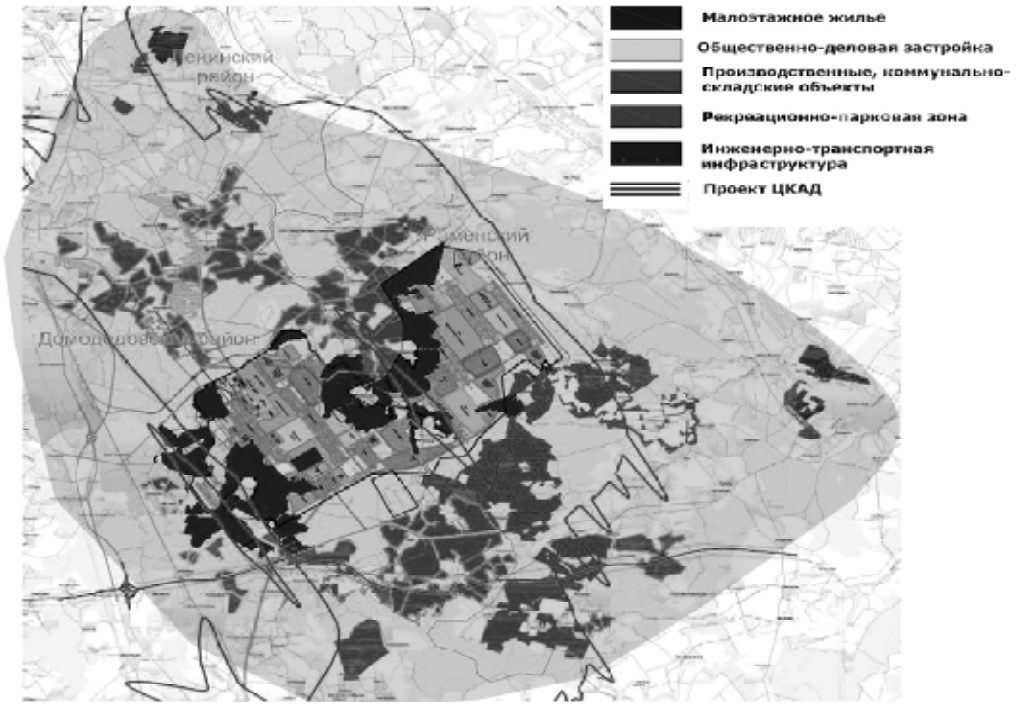


Рис. 2. Домодедово: план Аэротрополиса (https://www.dme.ru/img/2015/docs/DNS/2024.09.14.pdf)

На IV Всероссийской конференции «Развитие городских агломераций России» была представлена концепция «Аэросити, как транспортный хаб» города Новосибирска.

Концепция создания аэросити подразумевает формирование нового подхода в организации современных городских образований. Аэросити – это объект, где планировочные решения, инфраструктура и экономика подчиняются аэропорту. Аэропорт – центральное ядро данной модели, в котором представлено множество функций, характерных для современного мегаполиса, таких как коммерция, бизнес, развлечение и жильё.

Концепция развития аэросити подразумевает использование и внедрение следующих факторов:

- Аэросити – это самостоятельный город, который формируется вокруг аэропорта «Толмачево». Функциональное зонирование и планировочное решение организуются согласно требованиям создания комфортной среды для жизнедеятельности населения и гостей города;
- Не менее важной задачей аэросити является перераспределение потоков жителей и гостей города. Развитая инфраструктура аэросити дает возможность, не выезжая за его пределы, реализовывать потребности жизнедеятельности людей, бизнеса.
- Аэросити – драйвер развития Новосибирской агломерации и привлечение инвестиций в регион, в том числе через механизмы создания зон свободной торговли и особой экономической зоны;
- Ключевые достоинства концепции аэросити – это комфортная среда, транспортная доступность, размещение в отдалении от города и промышленности г. Новосибирска. Насыщение функциями, инфраструктурой, объектами позволяет жителям аэросити вести полноценный образ жизни в границах городского образования;
- Центральное ядро модели аэросити – г. Обь с прилегающими поселками (пос. Толмачёво, пос. Красноглинное).

Концепцией аэросити предполагается развитие внешней и внутренней транспортной сети, транспортной инфраструктуры; организация нового жилья; развитие инфраструктуры обслуживания населения и гостей города; развитие бизнес-инфраструктуры, формирования ряда общественных центров; развитие направления промышленной и логистической инфраструктуры [4].

Еще один проект организации аэротрополиса – проект «Казанский аэротрополис». На сегодняшний день, территория вокруг Казанского аэропорта насыщенна проектами инфраструктуры. В настоящее время уже идут работы по строительству города-спутника «Смарт-Сити». Аэротрополис – городское образование, на территории которого появятся логистические кластеры и центры, коммерческие объекты, экономические зоны и выставочный центр «Казань-Экспо». Данный проект инфраструктуры будет служить центром притяжения для инвесторов и бизнес-сообществ.

Вокзалы, как транспортно-пересадочные узлы

Не менее важными транспортно-пересадочными узлами являются вокзалы. Появление вокзалов способствовало активному развитию городов. Территории, прилегающие к ним, начинают пользоваться спросом и размещают здания складов, грузовые дворы, ремонтные мастерские, депо.

Сегодня вокзалы стремятся соответствовать современным тенденциям и возможностям транспортной инфраструктуры. На первый план выходят требования по безопасности, комфортной и легкодоступной городской среде. Назначением вокзалов на современном этапе развития города является выполнение транспортных и социальных функций.

Современные вокзалы – «лицо» города, его визитная карточка, одно из главных мест города. В зависимости от размера города, выявляется и значимость вокзала для него. Вокзалы играют немаловажную роль в развитии средних и малых городов. В небольших городских образованиях вокзал играет ключевую роль в насыщении его функциями, объектами. Прилегающие территории используются как уникальные образы города. Вокзал служит центром пересечения множества городских транспортных путей, распределяющим и оптимизирующим пассажиропотоки. Таким образом, меняется и функциональное насыщение вокзалов. Теперь они выполняют не только транспортную функцию, а также социальную, культурную, торговую, развивают прилегающие

территории. Вокзал – один из обособленных и ключевых градообразующих частей города, со сформировавшейся собственной уличной структурой и застройкой. Функциональное насыщение современных вокзалов – отражение смены парадигм и требований населения крупных городов (рис. 3).

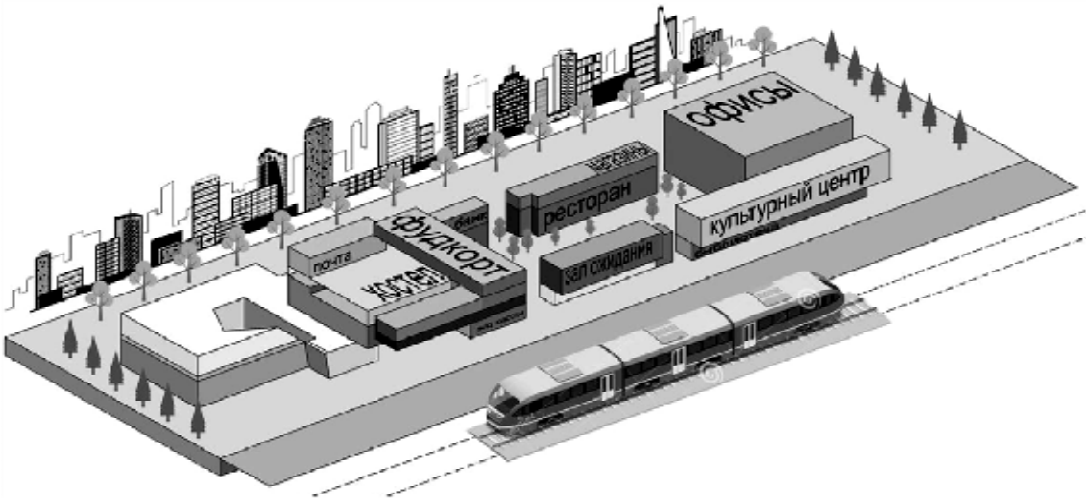


Рис. 3. Функциональное насыщение современных вокзалов (иллюстрация авторов)

Во время разработки проекта реконструкции Киевского вокзала, удалось выяснить, что около 10 % его посетителей совершают покупки в магазинах, пользуются услугами банков и почты, посещают кафе. Использование транспортной инфраструктуры постепенно сменяется социальным аспектом использования вокзалов. Это один из европейских трендов на сегодняшний день. Одним из интересных примеров его применения сегодня является Центральный вокзал Вены. После реконструкции в 2008 году здесь появился трехэтажный торговый центр площадью более 17000 м^2 и бизнес-центр площадью 13000 м^2. Дополняет эти функции отель Motel One. Территория вокзала открыта круглосуточно и привлекает разную аудиторию за счет вариативности составляющих. Активно используются в проектных решениях вокзальных и пересадочных узлов территориально-пространственные резервы – наземные и надземно-подземные.

В качестве одного из удачных примеров организации современных транспортно-пересадочных узлов, сочетающих в себе социальную, культурную и транспортную функции, следует выделить железнодорожный вокзал в Киото (рис. 4).

а) б)

Рис. 4. а) Железнодорожный вокзал в Киото; б) функциональное насыщение вокзала в Киото (https://www.tutu.ru/poezda/content/luchshie_zony_otdiha_na_vokzalah/)

Основное наполнение сооружения – это объекты инфраструктуры: культурно-досуговые центры, объекты медицины, офисы, отели, жилье, коворкинги, фудкорты. Следовательно,

объекты транспортной инфраструктуры занимают лишь одну десятую всего пространства вокзала [5]. «Если говорить об эволюции железнодорожного здания в направлении пространства «для всех» (для всех горожан, не только для пассажиров), то ее вершиной в мировом масштабе является железнодорожный вокзал JR в Киото» – Хироши Хара.

Градостроительная задача проекта становится во главе угла вопроса проектирования железнодорожного вокзала. Горизонтальная и вертикальная проницаемость для городского транспорта и пешеходов служит отличительной чертой и главной тенденцией при организации вокзала в структуре города. В проекте Хара часть помещений комплекса, протяженность которого – 470 м, а площадь – 238000 м^2, размещается на подземных этажах, другая часть помещений комплекса – надземная, в том числе, транспортные терминалы и подъездные пути для скоростных поездов. Пролегание последних высоко над головами посетителей обеспечивают пространственные конструкции. Проекты, использующие приемы внедрения и растворения вокзальных территорий в городской среде, становятся популярными во всем мире. Вокзал в Лиссабоне, спроектированный Сантьяго Калатравой в 1990-е годы, конструктивно схож с вокзалом в Киото. Используются арочные конструкции, поднятые пути и платформы. Пути и платформы не разделяют город на части, а синтезируют его благодаря общественному, насквозь проницаемому, пространству, обустроенному в нижнем ярусе под платформами. Автомобили и пешеходы могут беспрепятственно пересекать территорию этого пространства.

Ведущие архитекторы международной мастерской Zaha Hadid Architects в проекте организации вокзального комплекса в Неаполе (2008 год), распределили платформы на мосту, в целях создания безопасности движения пассажиров.

Сегодня, одной из наиболее перспективных концепций развития является концепция «Город внутри города». Она представляет собой модель формирования и создание ТПУ на основе железнодорожных путей. Концепцией предусмотрено формирование ряда социальных функций на территории ТПУ: торговые площадки, культурные пространства, офисные помещения, отели, паркинги, жилье. Это способствует организации рабочих мест, а также созданию множества дополнительных социальных и экономических выгод и преимуществ. Следовательно, развитие территории вокруг ТПУ дает возможность развития транспортной инфраструктуры, городской инфраструктуры, безопасности и комфортности среды для пассажиров.

Заключение

Таким образом, организация транспортно-пересадочных узлов играет ключевую роль в развитии периферийных зон мегаполиса. Сосредоточение деловых и бизнес-центров, торговых комплексов, жилых комплексов, научных и производственных предприятий способствует развитию инфраструктуры окраинных городских территорий. Внедрение концепции аэрополиса («город внутри города») способствует росту рабочих мест на периферийных территориях.

Кроме того, развитие периферийных территорий города создает благоприятные условия для привлечения инвесторов, с одной стороны, и решения социальных задач через бизнес – с другой.

Поставленные цели и задачи способствуют ускорению развития территории, используя предпринимательство и международную торговлю. Это, в свою очередь, сказывается на снижении стоимости перевозок, транспортных услуг, на увеличении транзитных грузопотоков, на переключении части внешнеторговых потоков на инфраструктуру. Такие процессы порождают изменения в виде создания новых рабочих мест и повышение уровня жизни населения.

Взаимосвязь расположения транспортно-пересадочных узлов с прилегающей территорией и застройкой значительно повышает ценность окружающего городского пространства, требующего грамотного и обоснованного подхода к функциональному планированию и насыщению этих территорий, рационального ее развития и использования.

Список библиографических ссылок

1. Шаймарданова К. А., Прокофьев Е. И. Аспекты выявления, формирования и развития периферийных зон города : сб. ст. Материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / КнАГУ. Комсомольск-на-Амуре, 2019. С. 163–170.
2. Транспортно-пересадочные узлы // Комплекс градостроительной политики и строительства Москвы: Интернет портал. 2010. URL: https://stroi.mos.ru/tpu.html (дата обращения: 02.10.2019).
3. Институт территориального планирования «Град». Проектная концепция «Аэросити как транспортный хаб» : сб. ст. Материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Новосибирск, 2017. С. 123–131.
4. Столбова И. Д. История архитектуры на железнодорожном транспорте: Конспект лекций. М. : РУТ (МИИТ), 2017. 122 с.
5. Комплектов А. И., Комплектова Г. И. Исследование современной архитектуры японии – итог летней учебной практики (на примере г. Осака и киото) // Интерьер-дайджест. 2007. № 5. С. 164–171.
6. Аэропорт как город будущево // Tatlin Publishers : Интернет издание. 1999. URL: https://tatlin.ru/articles.html (дата обращения: 01.10.2019).
7. Медведев П. В. Формирование транспортно-пересадочных узлов в городах // Вестник Университета. 2014. № 11 (11). С. 120–125.
8. Lindsay G., Casarda J. Aerotropolis: how we will live tomorrow. UK : Penguin Group, 2012. 496 p.
9. Monzon-de-Caceres A. City-Hubs: Sustainable and Efficient Urban Transport Interchanges. Spain : CRC Press, 2016. 200 p.
10. Jones W. New Transport Architecture: Travel Hubs in the 21st Century. New York : MITCH, 2008. 300 p.
11. Сиразетдинов Р. М., Назмутдинова И. М. Деволопмент в инвестиционной строительной сфере: развитие моногородов РФ, с целью повышения их инвестиционной привлекательности (на примере г. Менделеевска) : сб. ст. международной научно-практической конференции «Интеллектуальный город: устойчивость, управление, архитектура, реновация, технологии» / Казань, 2018. С. 54–59.

Shaimardanova Camilla Airatovna
architect
E-mail: shaimardanova.c@gmail.com
LLC ADW «VELP»
The organization address: 420111, Russia Kazan, Schapov st., 13
Prokofiev Evgenii Ivanovich
candidate of architecture, professor
E-mail: dirarx1@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Transport interchange hub as a city-forming factor in the development of peripheral territories

Abstract

Problem statement. The article is devoted to the analysis of transport hubs in the peripheral urban areas, as one of the key aspects of its development. The analysis of international and domestic experience in order to identify the features of the development of peripheral territories by organizing transport-transfer clusters on them is presented.

Results. The formation of transport hubs in the peripheral territories of the city entails the development of infrastructure, the construction of new facilities, the increase in places of employment, thereby setting a new vector for the development of the city, as well as allowing the competent organization, planning and solution of urban planning tasks.

Conclusions. The significance of the results for architecture lies in the fact that the organization of modern transportation hubs in the peripheral territories of the city is a vector of their development. A transport hub that meets the new requirements and capabilities of the transport infrastructure is a new center of attraction for city residents, investors, and developers.

Keywords: transport hub, peripheral territories, transport infrastructure, transport hub, transport and logistics cluster.

References

1. Shaimardanova K. A., Prokofiev E. I. Aspects of the identification, formation and development of the peripheral zones of the city : dig. of art. of the II All-Russian national scientific conference of students, graduate students and young scientists / KnAGU. Komsomolsk-na-Amure, 2019. P. 163–170.
2. Transport and interchange nodes // Complex of urban planning policy and construction of Moscow: Internet portal. 2010. URL: https://stroi.mos.ru/tpu.html (reference date: 02.10.2019).
3. Institute of spatial planning «Grad». Design concept «Aerocity as a transport hub» : dig. of art. of the II All-Russian national scientific conference of students, graduate students and young scientists / Novosibirsk, 2017. P. 123–131.
4. Stolbova I. D. The history of architecture in railway transport: Synopsis of lectures. M. : RUT (MIIT), 2017. 122 p.
5. Komplektov A. I., Komplektova G. I. The study of modern architecture of Japan – the result of summer training practice (for example, Osaka and Kyoto) // Interier daygest. 2007. № 5. P. 164–171.
6. Airport as a future city // Tatlin Publishers: Internet publication. 1999. URL: https://tatlin.ru/articles.html (reference date: 10.01.2019).
7. Medvedev P. V. Formation of transport hubs in cities // Vestnik Universiteta. 2014. № 11 (11). P. 120–125.
8. Lindsay G., Casarda J. Aerotropolis: how we will live tomorrow. UK : Penguin Group, 2012. 496 p.
9. Monzon-de-Caceres A. City-Hubs: Sustainable and Efficient Urban Transport Interchanges. Spain : CRC Press, 2016. 200 p.
10. Jones W. New Transport Architecture: Travel Hubs in the 21st Century. New York : MITCH, 2008. 300 p.
11. Sirazetdinov R. M., Nazmutdinova I. M. Development in investment construction: development of single-industry towns of the Russian Federation, with the aim of increasing their investment attractiveness (for example, the city of Mendeleevsk) : dig. of art. of International scientific-practical conference «Intelligent city: sustainability, management, architecture, renovation, technology» / Kazan, 2018. P. 54–59.

УДК 624.012.35/45
Замалиев Фарит Сахапович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: zamaliev49@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Определение эффективной ширины полки балок монолитного сталежелезобетонного перекрытия

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определение расчетной ширины плиты самостоятельных балок таврового сечения и ребер монолитного составного сечения сталежелезобетонного перекрытия или плит. Поставлена задача на основе анализа технической отечественной и зарубежной литературы выявить состояние вопроса по назначению расчетной ширины плит как самостоятельно применяемых балок таврового сечения, так и балок, находящихся в составе монолитного сталежелезобетонного перекрытия. На основе анализа напряженно-деформированного состояния изгибаемого составного сечения разного типа перекрытий записать новые аналитические выражения и получить формулы для определения расчетной ширины полок таврового сечения.

Результаты. Основные результаты исследования состоят из анализа сегодняшнего подхода к определению расчетной ширины плиты, в выявлении напряженно-деформированного состояния изгибаемого элемента таврового составного сечения и выводе формулы расчетной ширины плиты таврового сталежелезобетонного сечения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении напряженно-деформированного состояния изгибаемого сталежелезобетонного элемента. Результаты исследований, аналитические выражения оценки прочности таврового сечения сталежелезобетонных перекрытий могут быть использованы при возведении ребристых плит и балок новых зданий в сталежелезобетонном, деревобетонном, сборно-монолитном железобетонном вариантах и при восстановлении перекрытий зданий, отслуживших свой нормативный срок эксплуатации.

Ключевые слова: сталежелезобетонные конструкции, тавровое сечение, ширина полки, аналитические зависимости.

Введение

В первых перекрытиях зданий и сооружений, в странах, где преобладала древесина, в качестве несущих элементов перекрытий в направлении главного пролета использовали деревянные балки, а между ними различные настилы или мелкоразмерные плиты, где каждый элемент работал самостоятельно, опираясь друг на друга.

С появлением бетона и железобетона перекрытия начали делать из монолитных и сборных железобетонных плит, затем, в целях экономии бетона, начали применять ребристые перекрытия. Во второй половине XX столетия при реконструкции исторических зданий деревянные перекрытия, отслужившие свой нормативный срок, начали заменять на составные перекрытия с монолитной железобетонной плитой по стальным балкам. При обеспечении совместной работы плиты со стальной балкой образовывалось сталежелезобетонное перекрытие.

В ребристых железобетонных перекрытиях и в сталежелезобетонных ребристых плитах составного сечения главным несущим элементом являются условные балки таврового сечения в направлении ребер-балок. При проектировании ребристых перекрытий рассматривают, в первую очередь, напряженное состояние этого изгибаемого элемента.

Состояние вопроса и обзор литературы

В сталежелезобетонных перекрытиях и в ребристых железобетонных конструкциях для определения расчетной ширины плиты «b_f» в нормах по железобетонным и сталежелезобетонным конструкциям предлагают разные эмпирические выражения, где

«b_f» зависит от геометрических параметров изгибаемого элемента (пролета, шага балок, толщины плиты и т.д.).

В нормах по железобетонным конструкциям (СП 63.13390.2012): а) ограничивают расчетную ширину $b_f \leq 1/6$ пролета; б) при $h_f \geq 0{,}1h$ «b_f» равен расстоянию в свету между продольными ребрами; в) при $h_f \geq 0{,}1h$ «b_f» равен 6 h_s; г) при $0{,}05h \leq h_f \leq 0{,}1h$ «b_f» равен 3 h_s.

В нормах по сталежелезобетонным конструкциям (СП 266.1325800.2016):

а) «b_f» ограничивают 1/12 пролета;

б) «b_f» ограничивают $2(a+h_s)$, где a – 0,5 ширины полки стального двутавра.

В техническом кодексе (EN1994-1-1-2009) предлагают определять «b_{eff}» в зависимости от расстояния между анкерами и эффективного свеса полки, который в свою очередь может быть равным L/8, но не более 0,5 шага балок. Эффективная ширина полок зависит и от податливости бетонных полок, обусловленных деформациями сдвига, которые зависят от типа и особенностей работы анкеров, исследованиям, которых посвящена работы [1-15]. В п.5.4.12 Еврокода (EN 1994-1-1-2009) отмечено: «Следует учитывать податливость посредством точного расчета или, используя эффективную ширину пояса (плиты)», что диктует необходимость правильного назначения «b_f».

Однако в Еврокоде для определения эффективной ширины приведены эмпирические выражения, зависящие только от геометрических параметров сечения. Поэтому считаем, что исследования по поиску эффективной ширины необходимо вести в зависимости от действующего внешнего изгибающего момента и внутреннего напряженного состояния изгибаемого элемента и записать выражения для определения «b_f» сталежелезобетонного ребристого перекрытия.

Теоретические исследования

Рассмотрим наиболее распространенные типы сталежелезобетонных перекрытий в малоэтажных и многоэтажных зданиях: бетонные (железобетонные) монолитные плиты с использованием профнастила как несъемной опалубки по стальным ребрам-балкам, монолитные плиты, возводимые с использованием съемной опалубки и опертые с определенным шагом на стальные балки и перекрытия с монолитной плитой, опертой на сталебетонные ребра-балки.

На основании гипотезы плоских сечений, диаграмм зависимостей «напряжение-деформация» и принимая условие совместности деформации бетона и стали на уровне контактной поверхности, по напряжениям в бетоне «σ_b» и напряжениям в стали «σ_s» определяем внутренние усилия в сечении. Запишем выражение для определения положения нейтральной оси в изгибаемом сталежелезобетонном элементе со стальным профнастилом (рис. 1) по аналогии с ранее записанными выражениями (Замалиев Ф.С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КазГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228).

$$N_x = N_{bn} + N_{bp} + N'_a + N'_{S1} - N_{S2} = 0, \quad (1)$$

или

$$N_x = \int_{h_n}^{h_f} \sigma_b\left[\varepsilon_b(x)\right] b_f dx + \int_0^{h_n} \sigma_b\left[\varepsilon_b(x)\right] b_f dx + \sigma_a\left(\varepsilon_a\right) A_a + \sigma_{s_1}\left(\varepsilon'_s\right) A_{s_1} - \sigma_{s_2}\left(\varepsilon_s\right) A_{s_2}, \quad (1a)$$

где $\sigma_b(\varepsilon_b)$, $\sigma_s(\varepsilon_s)$ – зависимости «напряжение-деформация» бетона и стали;

ε_b, ε_s – относительные деформации бетона и стали по высоте сечения;

b_f – ширина сечения бетонной полки;

A_a, A_{S1}, A_{S2} – площади сечения арматуры, верхней и нижней частей стального профиля.

Из равенства внешних и внутренних моментов запишем уравнение изгибающих моментов в следующем виде:

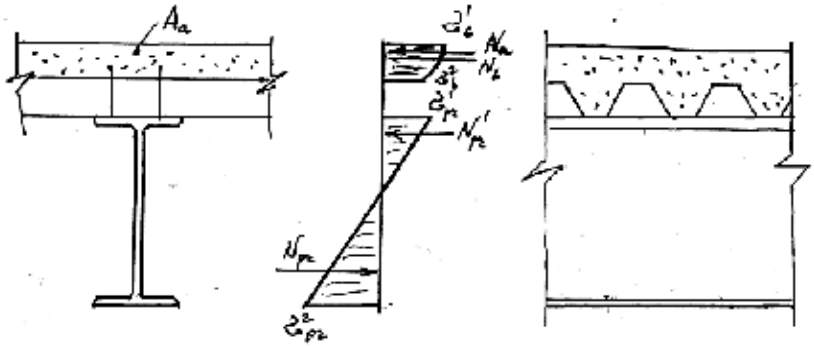
$$M_z = N_{bn}Z_1 + N_{bp}Z_2 + N'_aZ_3 + N'_{S1}Z_4 + N'_{S2}Z_5, \quad (2)$$

где, z_1, z_2 … z_5 – плечо соответствующего внутреннего усилия (рис. 1).

В зданиях и сооружениях при большом шаге колонн одного направления или большом расстоянии между несущими стенами может быть устроена балочная клетка по классической схеме с укладкой стального профнастила по балкам настила, тогда гофры профнастила будут ориентированы вдоль главных балок (рис. 2). Уравнение равновесия для сечения, состоящего из главной балки, профнастила и бетона запишется в следующем виде:

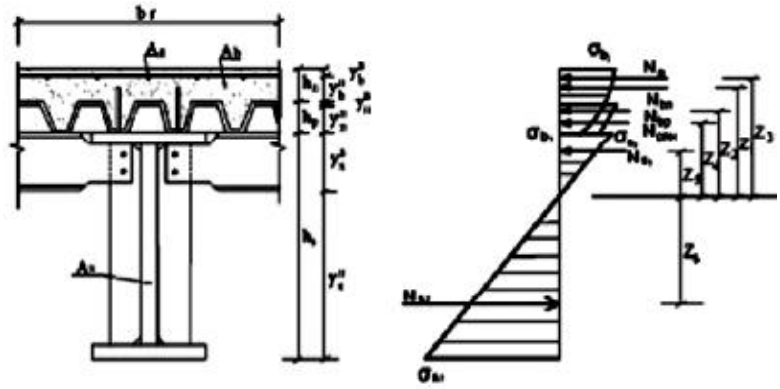
$$N_x = N_{bn} + N_{bp} + N_{СПН}N'_a + N'_{S1} - N_{S2}, \quad (3)$$

$$N_x = \int_{h_n}^{h_f} \sigma_{bn}\left[\varepsilon_b(x)\right] b_f\, dx + \int_{0}^{h_n} \sigma_{bp}\left[\varepsilon_b(x)\right] b_f\, dx + \sigma_a\left(\varepsilon_a\right) A_a + \sigma_{a_1}\left(\varepsilon_a^{'}\right) A_{s_1} + \\ + \sigma_{СПН}\left(\varepsilon_s\right) A_{СПН} + \sigma_{s_1}\left(\varepsilon_s^{'}\right) A_{s_1} - \sigma_{s_2}\left(\varepsilon_s\right) A_{s_2} \quad (3а)$$



а) б) в)

Рис. 1. Расчетное сечение и схема усилий сталежелезобетонного сечения со стальным профнастилом: а) поперечное сечение; б) эпюра напряжений и схема внутренних усилий; в) фрагмент элемента вдоль балки (иллюстрация автора)



а) б)

Рис. 2. Расчетная схема бетонного сечения с профнастилом и стальной балкой: а) сечение главной балки с сопряженной балкой настила; б) эпюра напряжений и внутренние усилия (иллюстрация автора)

Из этого уравнения находим положение границы сжатой зоны «Х». Моментное состояние для данного изгибаемого элемента запишется в следующем виде:

$$M_z = N_{bn}Z_1 + N_{br}Z_2 + N'_{СПН}Z_3 + N'_aZ_4 + N'_{ap2}Z_5 + N_{pr}Z_6, \quad (4)$$

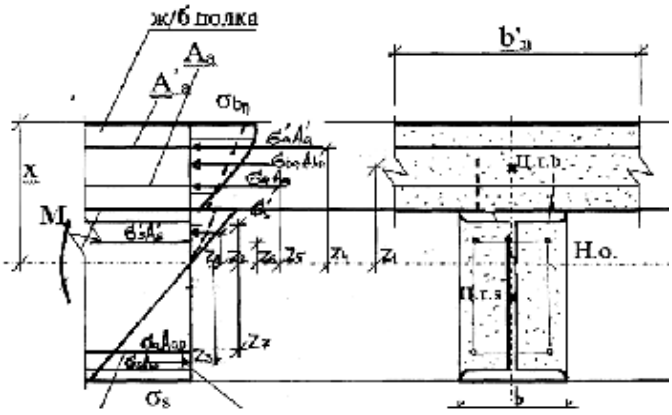
где N_i – внутренние усилия от напряжений соответствующего слоя составного сечения; $Z_{i\,(1\text{-}6)}$ – плечо соответствующего внутреннего усилия.

При повышенных требованиях огнестойкости к перекрытиям восстанавливаемых зданий, выполняют обетонирование стальных ребер перекрытия (рис. 3-4). Такие же уравнения будем иметь для таврового сечения сталежелезобетонного перекрытия состоящего из железобетонной плиты и обетонированного стального двутавра.

Для сталежелезобетонного сечения с обетонированными ребрами уравнения равновесия приобретают вид:

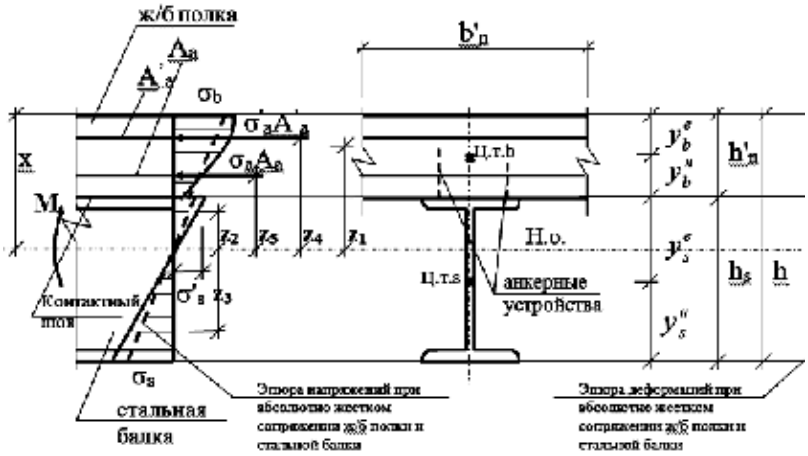
$$N_x = \int_0^h \sigma_b\left(\varepsilon_b\right) b_f\, dx + \sigma_a^{'}\left(\varepsilon_a\right) A_a^{'} + \sigma_{a_1}\left(\varepsilon_a\right) A_a + \int \sigma_{bp}\left(\varepsilon_b\right) b\left(x - h_f\right) + \sigma_{ap}^{'}\left(\varepsilon_a\right) A_{ap}^{'} + \\ + \sigma_{s_1}\left(\varepsilon_s\right) A_{s_1} - \sigma_{s_2} A_{s_2} - \sigma_{ap}\left(\varepsilon_a\right) A_{ap} \quad (5)$$

$$M = N_bZ_1 + N'_aZ_4 + N_aZ_5 + N'_{bp}Z_3 + N'_{ap}Z_8 + N'_{S1}Z_6 + N_{S2}Z_2 + N_{ap}Z_7. \quad (6)$$



а) б)

Рис. 3. Расчетная модель сталежелезобетонного сечения с обетонированными ребрами:
а) эпюра напряжений и схема усилий; б) поперечное сечение составного элемента
(иллюстрация автора)



а) б)

Рис. 4. Расчетная схема сталежелезобетонного сечения со стальными ребрами:
а) эпюра начальных напряжений и схема усилий;
б) поперечное сечение составного расчетного элемента (иллюстрация автора)

Для сечения, состоящего из железобетонной плиты и стальных ребер-балок, запишем аналогичные уравнения равновесия:

$$N_x=N_{bn}+N'_a+N_a+N'_{pr}-N_{pr} \tag{7}$$

или

$$N_x=\int_0^{h_n}\sigma_b(\varepsilon_b)b_f dx+\sigma'_a(\varepsilon_a)A'_a+\sigma_{a_1}(\varepsilon_a)A_a+\sigma'_{pr}(\varepsilon_s)A'_{pr}-\sigma_{pr}(\varepsilon_a)A_{pr} \tag{7a}$$

$$M_z=N_{bn}Z_1+N_{pr}Z_2+N'_aZ_4+N_aZ_5+N_{pr}Z_3. \tag{8}$$

Принимая треугольные эпюры напряжений, моментное состояние изгибаемого элемента можно записать в нижеследующем виде, здесь для простоты и наглядности в начальной формуле сечения арматуры в бетонной плите приняты равными нулю.

$$M\le 0{,}5(\sigma'_b+\sigma_b)b_fh_f\left[x-\frac{h_f}{3}\left(\frac{\sigma'_b+\sigma_b}{\sigma'_b+\sigma_b}\right)\right]+\frac{2}{3}\sigma'_s\left(x-h_f\right)^2+\frac{2}{3}\sigma_s[\left(h_s+h_f\right)-x]^2. \tag{9}$$

Рассматривая предельное состояние изгибаемого элемента, и допуская развитие пластических деформаций в изгибаемом сталежелезобетонном элементе, как в железобетонных изгибаемых элементах с жесткой арматурой, будем иметь расчетную модель с прямоугольной эпюрой напряжений.

Уравнение для определения положения границы сжатой зоны:

$$R_b b_f h_f + R_{pr} A'_{pr} - R_{pr} A_{pr} - 2R_{pr} t_\omega \left(0,5h_s - x + h_f\right) = 0. \quad (10)$$

Уравнение моментного состояния с использованием «W_{pr}» собственной жесткости двутавра:

$$M \le R_b b_f h_f (x - 0,5h_f) + R_{pr}[W_{pr} + \left(0,5h_s + h_f - x\right)^2 t_\omega]. \quad (11)$$

Учитывая, что дополнительный момент сопротивления от участка стенки двутавра сравнительно мал, из-за малости толщины стенки «t_ω» и расстояния от центра тяжести двутавра до нижней отметки сечения, пренебрегаем его влиянием на общее моментное состояние изгибаемого элемента. Подставляя «x» из (10) в (11) и производя преобразования, получим для искомой ширины «b_f» квадратное уравнение. Находя корень квадратного уравнения, и учитывая, что физически ширина полки «b_f» может быть только с положительным знаком, будем иметь:

$$b_f = \frac{0,5R_b h_f \left(h_f + h_s\right) \pm \sqrt{0,25R_b^2 h_f^2 \left(h_f + h_s\right)^2 - 4R_b^2 h_f^2 / 2R_{pr} h_\omega \left(M - R_{pr} W_{pr}\right)'}}{R_b^2 h_f^2 / 2R_{pr} t_\omega}, \quad (12)$$

где R_b, R_{pr} – предельные значения напряжении, приравненные расчетному сопротивлению бетона и стального профиля;

h_f, h_s, t_ω – геометрические параметры составного сечения;

M – внешний момент от действующих нагрузок.

Сокращая и упрощая повторяющиеся члены:

$$b_f = \frac{R_{pr} t_\omega}{R_b h_f}\left(h_f + h_s\right) \pm \frac{2R_{pr} t_\omega}{R_b^2 h_f^2} \sqrt{0,25R_b^2 h_f^2 \left(h_f + h_s\right)^2 - 4\frac{R_b^2 h_f^2}{2R_{pr} h_\omega}\left(M - R_{pr} W_{pr}\right)}. \quad (12a)$$

При учете в работе сталежелезобетонного сечения арматурных сеток в верхней и нижней зонах бетонной плиты эффективную ширину «b_f» будем иметь в виде более длинного выражения:

$$b_f = \frac{0,5R_b h_f (h_f + h_s) + \frac{R_b h_f R_a}{2R_{pr} t_\omega}\left(A'_a + A_a\right) \pm \sqrt{[0,5R_b h_f \left(h_f + h_s\right) - \frac{R_b h_f R_a}{2R_{pr} t_\omega}\left(A'_a + A'_a\right)]^2 - }}{R_b^2 h_f^2 / 2R_{pr} t_\omega}$$

$$\overline{-2\frac{R_b^2 h_f^2}{R_{pr} t_\omega}\left[M - R_{pr} W_{pr} + \frac{R_a (A_a + A'_a)}{2R_{pr} t_\omega} - R_a A'_a a' + R_a A'_a (0,5h_s + h_f) - R_a A'_a \frac{R_a (A'_a + A_a)}{2R_{pr} t_\omega} + \right.}$$

$$\left. \overline{+ R_a A_a (a - h_f) + R_a A_a (0,5h_s + h_f) - R_a^2 \frac{A_a (A'_a + A_a)}{2R_{pr} t_\omega}}\right]. \quad (13)$$

Запишем аналогичные уравнения для определения «x» и моментного состояния изгибаемого элемента для расчетного сечения перекрытия с профнастилом, с гофрами ориентированными вдоль балки (рис. 2). Исходя из незначительного влияния гибкой арматуры в бетонной плите на общую несущую способность элемента, внутренние силы от гибкой арматуры не учитываем:

$$R_b b_f (h_f + h_b) + R_{СПН} \frac{A_{СПН}}{b_{СПН}} b_f - 2R_{pr} t_\omega \left(0,5h_s - x + h_f\right) = 0, \quad (14)$$

где приведенная высота бетона в гофрах $h_b=(b'_p+b''_p)/2b_1$; h_p, b'_p, b''_p, b_1 – геометрические размеры в сечении и шаг гофров СПН;

$A_{СПН}$, $b_{СПН}$ – площадь и ширина стального профнастила завода-изготовителя:

$$M \le R_b b_f h_f (x - 0,5h_f) + R_b b_f h_b (x - h_f + 0,5h_b + R_{СПН} \frac{A_{СПН}}{b_{СПН}} b_f \left(x - h_f - 0,5h_p\right) + R_{pr} W_{pr}. \quad (15)$$

Находя значение «*x*» из уравнения (14) и подставляя в уравнение (15) получено квадратное уравнение для «b_f» и решая его находим «b_f» для данного сечения изгибаемого элемента перекрытия:

$$b_f = \frac{-R_b h_f[0,5h_s + h_f) + 0,5h_f] + 0,5R_b h_b(h_b + h_s) + R_{СПН}\frac{A_{СПН}}{b_{СПН}}(h_f + 0,5h_p) \pm \sqrt{R_b^2 h_f^2\{[0,5h_s + h_f) +}}{[R_b^2(h_f + h_b)(h_f + h_b) + R_b(h_f + h_b)R_{СПН}\frac{A_{СПН}}{b_{СПН}} - 0,5R_{СПН}^2(\frac{A_{СПН}}{b_{СПН}})^2] / R_{pr}t_\omega}$$

$$\frac{+0,5h_f + 0,5R_b h_b(h_b + h_s) + R_{СПН}\frac{A_{СПН}}{b_{СПН}}(h_f + 0,5h_p)\}^2 - 4\{[R_b^2(h_f + h_b)(h_f + h_b) + R_b(h_f + h_b)\cdot}{\cdot R_{СПН}\frac{A_{СПН}}{b_{СПН}}][R_{СПН}\frac{A_{СПН}}{b_{СПН}}(0,5h_s + h_f) - \frac{R_b(h_f + h_b)}{2R_{pr}t_\omega}] + R_{pr}W_{pr} - M\}}. \quad (16)$$

Для сечения, когда профнастил ориентирован поперек стальных ребер (рис. 1), и, пренебрегая влиянием бетона в гофрах стального профнастила на работу бетонной полки, эффективную ширину полки сжатого элемента в сталежелезобетонном сечении можно определить по формуле (12) или (12а), с единственным отличием, что, в этом случае «h_f» принимается равным только толщине бетонной плиты сверху стального профнастила.

Заключение

1. Анализ нормативных документов, на базе которых проектируются сталежелезобетонные перекрытия, показал, что в основном для определения эффективной ширины полки сталежелезобетонной балки, изолированной или находящейся в составе перекрытия, используются эмпирические зависимости.

2. Для определения расчетной ширины полки использованы уравнения равновесия внуренних сил и моментного состояния изгибаемого элемента. Такой изгибаемый элемент может применяться как изолированно, так и в составе перекрытия.

3. Рассмотрены наиболее распространенные типы перекрытий в малоэтажных и многоэтажных зданиях: монолитное ребристое перекрытие со стальным профнастилом, бетонное (железобетонное) перекрытие по стальным и сталебетонным балкам.

4. Полученные выражения проверены путем численным расчетов для конкретных геометрических, прочностных параметров, использованных материалов реального перекрытия. Например, для сталежелезобетонного перекрытия с бетонной плитой и стальными балками (рис. 4) шагом 3 м, пролетом 6 м, при нагрузке 800 кг/м^2 получена расчетная ширина «b_f»=136 см, а при учете арматуры в составе бетонной плиты, эффективная ширина увеличивается до 168 см.

Список библиографических ссылок

1. Construction metallique. Revue : Paris, Franse, № 1-4, 1985, № 4, 1991.
2. Stephen J. Hicks, Andrew L. Smith Stud shear connectors in composite beams that support slabs with profiled steel sheeting // Structural Engineering International. 2014. № 2. P. 246–253.
3. American institute of steel construction. ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural steel Buildings, American Institute of Steel Construction: Chicago, 2010.
4. Shen M. H. and Chung K. F. Structural behavior of stud shear connections with solid and composite slabs under co-existing shear and tension forces.
5. Lawson R. M., Lim J. B. P., Popo-Ola S. O. Pull-out forces in shear connectors in composite beams with large web openings // Journal of Constructional Steel Research. 2013. № 87. P. 48–59.
6. Mirza O., Uy B. Effects of the combination of axial and shear loading on the behaviour of headed stud steel anchors // Engineering Structures. 2010. № 32 (1). P. 93–105.
7. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures, 2010.
8. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures, 2013.

9. Tahmasebinia F., Ranzi G., Zona A. Probabilistic three-dimensional finite element study on composite beams with steel trapezoidal decking // Journal of Constructional Steel Research. 2013. № 80. P. 394–411.
10. Johnson R. P. Calibration of resistance of shear connectors in troughs of profiled sheeting. Proc. Instn. Civ. Eng., Struct. Blag., 2008. P. 117–126.
11. Johnson R. P. Designers' Guide to Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, 2nd edn, Thomas Telford : London, 2012. 257 p.
12. Smith A. L., Couchman G. H. Strength and ductility of headed stud connectors in profiled steel sheeting // J. Construct. Steel Res. 2010. № 66. P. 748–754.
13. Ernst S., Bridge R. Q, Wheeler A. Correlation of beam tests with pushout tests in steel-concrete composite beams // J. Struct. Eng. 2010. № 136 (2). P. 183–192.
14. Roger P. Jonson Designers' guide to eurocode 4: design of composite steel and concrete structures EN 1994-1-1. 2011. 412 p.
15. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and fabric- composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 158. P. 010250.

Zamaliev Farit Sakhapovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: zamaliev49@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Determination of the monolithic steel-reinforced concrete floors effective beam width

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to determine the design width of the slab of independent «T»-section beams and ribs of a monolithic composite section of steel-reinforced concrete floor or slabs. Based on the analysis of technical domestic and foreign literature, the task is set to identify the state of the issue on the design width of the slab as independently used beams of «T»-section, and beams that are part of a monolithic reinforced concrete floor. Based on the analysis of the stress-strain state of a bent composite section of various types of floors, write new analytical expressions and obtain formulas for determining the estimated width of the shelves of the «T»-section.

Results. The main research results consist of an analysis of the current approach to determining the design width of a slab, identifying the stress-strain state of a bent element of a «T»-shaped composite section and deriving a formula for the estimated width of a slab of a t-steel-reinforced concrete section.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry lies in the identification of the stress-strain state of a bent steel-reinforced concrete element. The research results, analytical expressions for assessing the strength of the «T»-section of steel-reinforced concrete floors can be used in the construction of ribbed plates and beams of new buildings in steel-reinforced concrete, wood-concrete, precast-monolithic reinforced concrete versions and in the restoration of ceilings of buildings that have served their standard life.

Keywords: steel-reinforced concrete structures, «T»-section, shelf width, analytical dependencies.

References

1. Construction metallique. Revue : Paris, Franse, № 1-4, 1985, № 4, 1991.
2. Stephen J. Hicks, Andrew L. Smith Stud shear connectors in composite beams that support slabs with profiled steel sheeting // Structural Engineering International. 2014. № 2. P. 246–253.

3. American institute of steel construction. ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural steel Buildings, American Institute of Steel Construction: Chicago, 2010.
4. Shen M. H. and Chung K. F. Structural behavior of stud shear connections with solid and composite slabs under co-existing shear and tension forces.
5. Lawson R. M., Lim J. B. P., Popo-Ola S. O. Pull-out forces in shear connectors in composite beams with large web openings // Journal of Constructional Steel Research. 2013. № 87. P. 48–59.
6. Mirza O., Uy B. Effects of the combination of axial and shear loading on the behaviour of headed stud steel anchors // Engineering Structures. 2010. № 32 (1). P. 93–105.
7. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures, 2010.
8. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures, 2013.
9. Tahmasebinia F., Ranzi G., Zona A. Probabilistic three-dimensional finite element study on composite beams with steel trapezoidal decking // Journal of Constructional Steel Research. 2013. № 80. P. 394–411.
10. Johnson R. P. Calibration of resistance of shear connectors in troughs of profiled sheeting. Proc. Instn. Civ. Eng., Struct. Blag., 2008. P. 117–126.
11. Johnson R. P. Designers' Guide to Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, 2nd edn, Thomas Telford : London, 2012. 257 p.
12. Smith A. L., Couchman G. H. Strength and ductility of headed stud connectors in profiled steel sheeting // J. Construct. Steel Res. 2010. 66. P. 748–754.
13. Ernst S., Bridge R. Q, Wheeler A. Correlation of beam tests with pushout tests in steel-concrete composite beams // J. Struct. Eng. 2010. 136(2). P. 183–192.
14. Roger P. Jonson Designers' guide to eurocode 4: design of composite steel and concrete structures EN 1994-1-1. 2011. 412 p.
15. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and fabric- composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 158. P. 010250.

УДК 624.159.11
Мирсаяпов Ильшат Талгатович
доктор технических наук, профессор
E-mail: itmir@kgasu.ru
Никитин Георгий Петрович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: g.nikitin@gap-rt.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Ханбеков Мидхат Фаридович
начальник группы ОГК
E-mail: m.khanbekov@gap-rt.ru
Мирсаяпов Арслан Илшатович
инженер
E-mail: a.mirsayapov@gap-rt.ru
АО «Казанский Гипроинавиапром»
Адрес организации: 420127, Россия, г. Казань, ул. Дементьева, д. 1

Натурные испытания плитного фундамента под высокоточное оборудование с имитацией работы подвижной части станка поэтапным нагружением

Аннотация

Постановка задачи. Целью проведения натурных испытаний ставилось исследование фундамента и массива грунта при поэтапном нагружении фундамента с оценкой его предельного прогиба и крена.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении напряжённо-деформированного состояния системы «фундамент-станина», выявлении закономерности прогиба плитного фундамента и его крене при работе подвижной части станка.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выборе типа фундамента под высокоточное оборудование с подвижными частями, установлении его оптимальных габаритов, с учётом инженерно-геологических условий.

Ключевые слова: плитный фундамент, натурные испытания, высокоточное оборудование, осадки и крен фундамента, жёсткость системы «фундамент-станина».

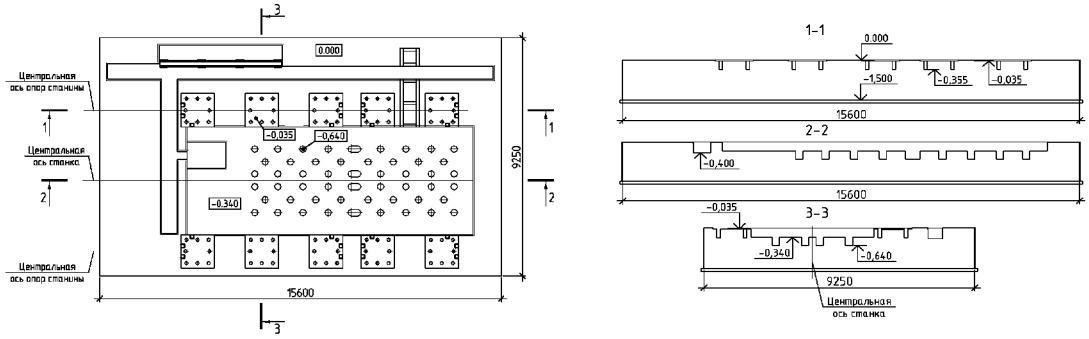
Введение

Современная промышленность в настоящее время создаёт оборудование, которое позволяет увеличить скорость, и точность изготовления различных деталей для машиностроения. Само оборудование состоит из множества подвижных частей, имеющих большую массу. Для такого оборудования требуется устройство надёжного и прочного основания. Чаще всего таким основанием является массивная монолитная железобетонная плита большой толщины, прямоугольная в плане, с множеством приямков и колодцев для последующего монтажа элементов оборудования и их закрепления. Во время движения подвижных частей оборудования, фундамент испытывает периодическое воздействие циклических статических и динамических нагрузок, которые передаются от фундамента на грунтовый массив. Проблеме исследований напряжённо-деформированного состояния и вертикальных перемещений системы «грунт-фундамент-сооружение», при различных нагружениях, посвящены работы [1-10].

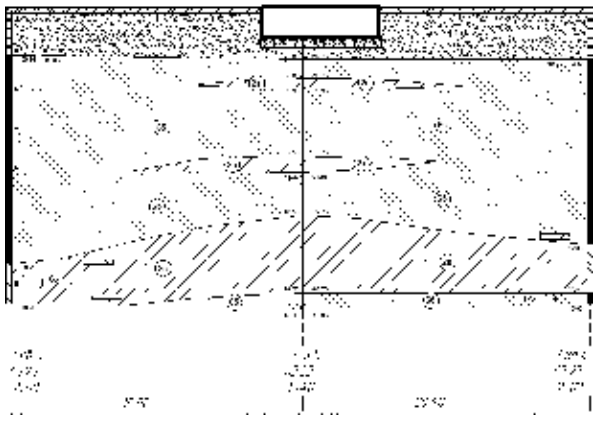
Исследуемый фундамент

Размеры фундамента в плане 15,6×9,25 м, толщина 1,5 м (бетон B25W6F75, арматура A500C) приняты с учётом размеров оборудования, а также с учётом требований СП 26.13330.2012 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками» и инженерно-геологических условий строительной площадки. В центральной части фундамента расположен приямок глубиной 340 мм для монтажа рабочего стола (на стол устанавливается заготовка из металла, из которой изготавливается деталь). По краям

фундамента – ниши глубиной 35 мм, для монтажа опорных станин (станина состоит из вертикальных опор и распределительной балки – траверсы, по которой перемещается подвижная часть оборудования) (рис. 1 а-б).



а) б)



в)

Рис. 1. Исследуемый фундамент: а) план; б) продольные и поперечный разрезы; в) инженерно-геологический разрез (иллюстрация авторов)

Параметры нагрузки на фундамент: вес станка – 110 т (в том числе подвижной части – 35 т, перемещающейся циклически по станине со скоростью 0,01 м/с между каждых пар станин); на грунтовое основание, кроме этого, действует ещё вес фундамента – 450 т.

Под подошвой фундамента залегают следующие слои и основания:

– бетонная подготовка (бетона В7.5), толщиной 100 мм;

– щебень М-600, толщиной 500 мм;

– насыпной слой (грунт разнородный, слежавшийся, отсыпан сухим способом в 1987 г., с преобладанием песка мелкого малой степени водонасыщения).

Инженерно-геологические условия строительной площадки

При изучении инженерной геологии (рис. 1в) строительной площадки использовались архивные материалы (1975 г., 2013 г., 2015 г.) для сопоставления полученных результатов. Можно отметить, что изменений в геолого-литологическом строении, гидрогеологических условиях, физико-механических свойствах грунтов площадки не произошло.

Геолого-литологический состав грунта сложен следующими слоями:

- бетонное основание пола, толщиной 350 мм;

- 1а – насыпной слой, мощностью 2,3 – 2,5 м (со следующими характеристиками: $\rho = 2{,}01$ г/см^3; $\varphi = 28\ ^0$; С = 7 кПа; Е = 20,9 МПа);

- 6б – песок мелкий, водонасыщенный, мощностью 10,5-13,0 (со следующими характеристиками: $\rho = 2{,}02$ г/см^3; $\varphi = 33\ ^0$; С = 2 кПа; Е = 28,05 МПа);

- 2в – суглинок мягкопластичной консистенции, мощностью 2,0-4,0 м (со следующими характеристиками: $\rho = 1{,}98$ г/см^3; $\varphi = 10\ ^0$; С = 10 кПа; Е = 11,7 МПа).

Проведение испытания фундамента

Необходимость в проведении испытаний вызвана дополнительными требованиями завода-изготовителя оборудования по предельному прогибу фундамента равному 0,06 мм на длине 15,6 м, и общему крену фундамента равному 0,012 мм/м, заданными после изготовления фундамента.

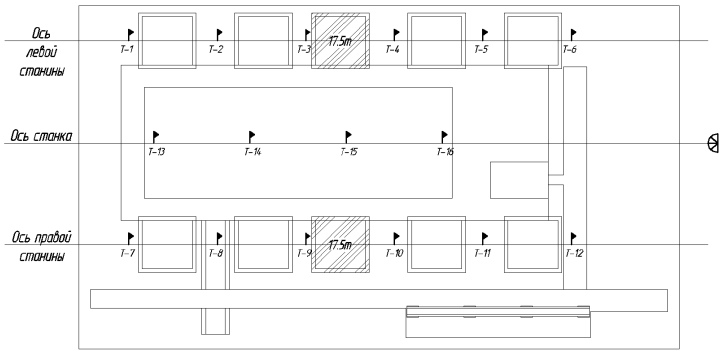
Применённые измерительные приборы и поэтапная схема испытаний (рис. 2).

а)

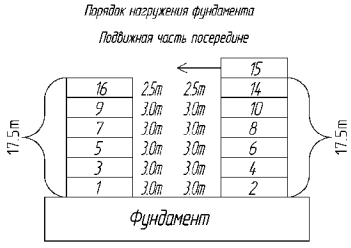
б)

в)

г)



д)



е)

Рис. 2. Поэтапное загружение третьей пары станин равномерной нагрузкой по 17,5 т на обе станины:
а) общий вид; б) лазерный трекер Radian R-50, подключённый к ноутбуку;
в) отражатель лазерных лучей; г) контрольный маяк;
д) схема приложения нагрузок и расстановки маяков; е) порядок нагружения станин
(иллюстрация авторов)

Из-за небольшой скорости перемещения подвижной части по станине принят следующий режим нагружения – нечётные пары станин (между маяков Т-1, Т-2; Т-7, Т-8 – I пара, Т-3, Т-4; Т-9, Т-10 – III пара, Т-5, Т-6; Т-11, Т-12 – V пара) поэтапно загружаются до величины 15,0-20,0 т, 20,0-15,0 т, 17,5-17,5 т. При этом имитация перемещения подвижной части в крайнем левом и правом, центральном положениях полностью моделирует работу станка. Режим загружения для третьей пары станин (рис. 2 а, д, е).

Программа проведения испытаний была разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 8829-2018 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жёсткости и трещиностойкости». Измерения деформаций для пошаговой нагрузки проводились с выдержкой в 10 минут, для полной нагрузки – с выдержкой в 30 минут.

Загрузочные устройства – стальные плоские круглые плиты («блины») весом 1,0 т, 1,1 т, 1,25 т. Суммарный вес 35,0 т.

На момент проведения испытания нагружением температура окружающего воздуха в пределах 18±1 ^{0}С.

При помощи лазерного трекера Radian R-50, с точностью измерения 0,01 мм (рис. 2б, обозначен полусферой на рис. 2д), проведено определение значений деформаций фундамента по равномерно расставленным на нём контрольным маякам (рис. 2г, обозначены флажком и буквой «Т» на рис. 2б). На контрольные маяки устанавливался отражатель лазерных лучей (рис. 2в), который принимает и отражает луч от трекера. Во время испытаний работа машин и механизмов вблизи фундамента была исключена, а также велись наблюдения за изменением температурно-влажностного режима при полном отсутствии колебаний воздуха. Во время перемены этих параметров измерения деформаций приостанавливались до стабилизации окружающей среды. Трекер установлен за пределами фундамента, чтобы снизить возможное влияние осадки фундамента на точность показаний трекера.

Результаты испытаний

Перед началом и после окончания испытаний осмотрена поверхность фундамента на наличие трещин. При испытаниях ширина их раскрытия не превысила 0,1 мм.

Результаты измерений вертикальных деформаций сведены в таблицу, для первой пары станин – отражены в табл. 1, для третьей пары – в табл. 2.

Таблица 1

№ ступени загруж.	Пошаговая нагрузка на фундамент		Показания лазерного трекера при измерении вертикальных деформаций, в мм																
			Контрольные точки по оси левой станины (л.с.)						Контрольные точки по оси правой станины (п.с.)						Контрольные точки по оси стола				
	л.с.	п.с.	Т-1	Т-2	Т-3	Т-4	Т-5	Т-6	Т-7	Т-8	Т-9	Т-10	Т-11	Т-12	Т-13	Т-14	Т-15	Т-16	Т-17
0	0%	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	15% - 3,0 т	15% - 3,0 т	-0,16	-0,11	-0,04	-0,04	-0,01	0,02	-0,17	-0,15	-0,11	-0,11	-0,04	-0,01	-0,10	-0,12	-0,03	-0,04	-0,05
2	30% - 6,3 т	30% - 6,3 т	-0,12	-0,09	-0,04	-0,03	-0,02	0,00	-0,18	-0,16	-0,13	-0,10	-0,04	-0,02	-0,03	-0,08	-0,12	-0,05	-0,06
3	45% - 8,8 т	45% - 8,8 т	-0,19	-0,12	-0,10	-0,08	-0,05	-0,03	-0,20	-0,19	-0,12	-0,09	-0,06	-0,03	-0,19	-0,15	-0,14	-0,09	-0,09
4	60% - 11,8 т	60% - 11,8 т	-0,23	-0,18	-0,14	-0,10	-0,07	-0,03	-0,26	-0,25	-0,17	-0,12	-0,06	-0,04	-0,05	-0,16	-0,13	-0,09	-0,08
5	75% - 15,0 т	75% - 15,0 т	-0,25	-0,19	-0,15	-0,10	-0,08	-0,03	-0,25	-0,19	-0,13	-0,09	-0,05	-0,03	-0,18	-0,16	-0,14	-0,11	-0,09
6	100% - 20,0 т	75% - 15,0 т	-0,26	-0,24	-0,15	-0,11	-0,06	-0,05	-0,27	-0,25	-0,16	-0,13	-0,07	-0,04	-0,23	-0,19	-0,14	-0,09	-0,09

Продолжение таблицы 1

7	75% - 15,0 т	75% - 15,0 т	-0,27	-0,20	-0,16	-0,11	-0,07	-0,04	-0,32	-0,28	-0,15	-0,15	-0,08	-0,04	-0,28	-0,18	-0,16	-0,09	-0,08
8	75% - 15,0 т	100% - 20,0 т	-0,24	-0,19	-0,13	-0,01	-0,06	-0,04	-0,27	-0,26	-0,14	-0,13	-0,06	-0,03	-0,22	-0,16	-0,12	-0,09	-0,08
9	87,5%-17,5т	87,5%-17,5т	-0,23	-0,18	-0,12	-0,09	-0,07	-0,05	-0,25	-0,24	-0,17	-0,11	-0,07	-0,04	-0,23	-0,17	-0,14	-0,09	-0,07
10	0%	0%	-0,15	-0,09	-0,08	-0,04	-0,03	0,01	-0,13	-0,14	-0,03	0,02	-0,01	0,00	-0,10	-0,09	-0,02	-0,01	0,00

Таблица 2

№ ступени загруж.	Пошаговая нагрузка на фундамент		Показания лазерного трекера при измерении вертикальных деформаций, в мм																
			Контрольные точки по оси левой станины (л.с.)						Контрольные точки по оси правой станины (п.с.)						Контрольные точки по оси стола				
	л.с.	п.с.	Т-1	Т-2	Т-3	Т-4	Т-5	Т-6	Т-7	Т-8	Т-9	Т-10	Т-11	Т-12	Т-13	Т-14	Т-15	Т-16	Т-17
0	0%	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	15% - 3,0 т	15% - 3,0 т	-0,09	-0,10	-0,10	-0,05	-0,05	-0,05	-0,12	-0,08	-0,07	-0,01	-0,07	-0,05	-0,08	-0,05	-0,07	-0,03	-0,03
2	30% - 6,3 т	30% - 6,3 т	-0,10	-0,11	-0,10	-0,08	-0,08	-0,06	-0,15	-0,09	-0,10	-0,08	-0,07	-0,05	-0,09	-0,07	-0,09	-0,05	-0,04
3	45% - 8,8 т	45% - 8,8 т	-0,12	-0,16	-0,17	-0,10	-0,11	-0,07	-0,18	-0,11	-0,13	-0,10	-0,07	-0,06	-0,11	-0,10	-0,11	-0,07	-0,06
4	60% - 11,8 т	60% - 11,8 т	-0,07	-0,13	-0,15	-0,10	-0,10	-0,08	-0,11	-0,08	-0,08	-0,08	-0,09	-0,07	-0,05	-0,06	-0,06	-0,07	-0,06
5	75% - 15,0 т	75% - 15,0 т	-0,10	-0,13	-0,15	-0,11	-0,10	-0,09	-0,10	-0,06	-0,06	-0,08	-0,08	-0,07	-0,03	0,01	-0,07	-0,08	-0,07
6	100% - 20,0 т	75% - 15,0 т	-0,07	-0,15	-0,17	-0,11	-0,13	-0,08	-0,06	-0,05	-0,08	-0,08	-0,08	-0,07	0,00	-0,05	-0,07	-0,07	-0,04
7	75% - 15,0 т	75% - 15,0 т	-0,09	-0,12	-0,13	-0,08	-0,10	-0,08	-0,08	-0,04	-0,10	-0,09	-0,07	-0,08	0,00	-0,09	-0,08	-0,07	-0,07
8	75% - 15,0 т	100% - 20,0 т	-0,03	-0,06	-0,07	-0,20	-0,11	-0,06	-0,10	-0,06	-0,06	-0,07	-0,10	-0,07	0,01	-0,03	-0,08	-0,09	-0,08
9	87,5%-17,5т	87,5%-17,5т	-0,06	-0,11	-0,05	-0,12	-0,11	-0,08	-0,06	-0,04	-0,08	-0,10	-0,09	-0,08	-0,04	-0,09	-0,10	-0,08	-0,06
10	0%	0%	-0,05	-0,09	-0,02	0,00	-0,05	-0,02	-0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	-0,02	-0,01	-0,02

Анализу подвергались значения вертикальных деформаций при полном загружении (ступени загружения № 6, 8, 9). После анализа таблиц, для наглядности, были построены графики зависимостей для ступеней загружения № 6: «приложенная нагрузка — вертикальные деформации» (рис. 3).

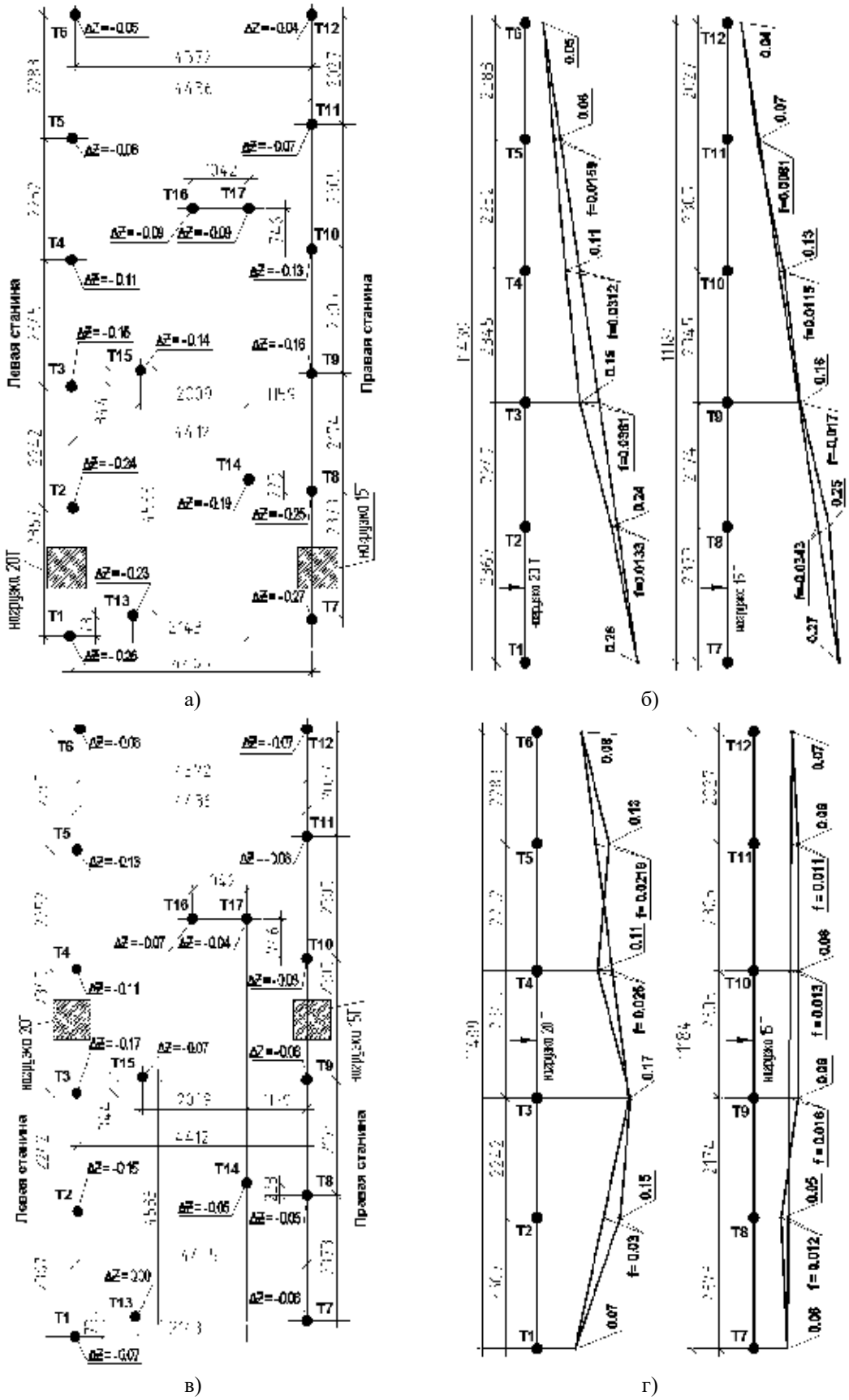


Рис. 3. Графики зависимостей: а), в) фактическое положение контрольных маяков в плане со значениями вертикальных перемещений для первой и третьей пар станин соответственно; б), г) значения вертикальных деформаций от приложенной нагрузки (иллюстрация авторов)

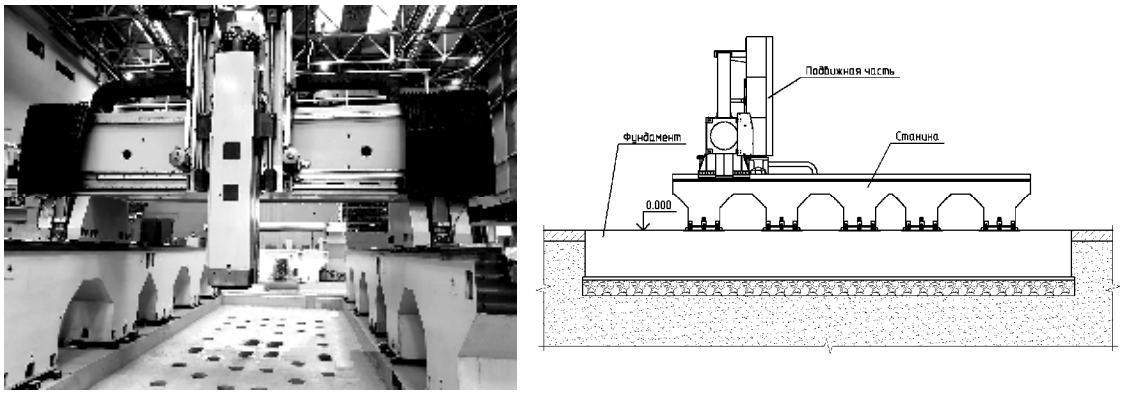
Выводы по результатам испытаний

1. Величина максимального прогиба фундамента составляет 0,008-0,040 мм, что меньше заданного критерия – 0,06 мм.

2. Общий крен фундамента составляет величину 0,0009-0,040 мм/м, что превышает заданный критерий – 0,012 мм/м.

3. С целью стабилизации осадок и увеличения общей жёсткости системы «фундамент-станина» произведена сборка оборудования (рис. 4). Станина представляет собой жёсткую рамную конструкцию, после её крепления анкерными болтами, значительно возрастает суммарная жёсткость системы «фундамент-станина».

4. После монтажа станка выполненные повторно замеры показателей прогибов и крена фундамента не превышают заданных критериев. Несущая способность и прочность системы «фундамент-станина» достаточны для надёжной эксплуатации оборудования.



а) б)

Рис. 4. Система «фундамент-станина»:
а) общий вид; б) схема расположения оборудования на фундаменте (иллюстрация авторов)

Заключение

Основными критериями при выборе плитного фундамента под оборудование является его большая масса и жёсткость. Имитация работы подвижных частей поэтапным нагружением наиболее точно описывает напряжённо-деформированное состояние системы «грунт-фундамент-оборудование», в том числе показывает порядок цифр прогиба и крена. Пуско-наладочные работы с циклическим нагружением (постепенная сборка станины, стола, подвижной части с её перемещениями по станине) приводят к стабилизации осадок и возрастанию суммарной жёсткости системы «фундамент-станина».

Список библиографических ссылок

1. Mirsayapov Ilshat T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundation under cyclic loading : dig. of art. 1st International conference on energy geotechnics / ICEGT. Kiel. Germany. 2016. P. 423–428.
2. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Shakirzyanov D. D. Calculation model of foundation base settlement at the static and cyclic regime loading : dig. of art. 1st International conference on energy geotechnics / ICEGT. Kiel. Germany. 2016. P. 429–434.
3. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Long-term Settlements Assessment of High-rise Building Groundbase Based on Analytical Ground Deformation Diagram : Proc. intern. symp. St. Petersbug. Russian Federation. ACUUS 2016. 15th International Scientific Conference «Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development». Vol. 165. 2016. P. 519–527.

4. Пономарёв А. Б., Сычкина Е. Н. Экспериментальные полевые исследования деформируемости аргиллитоподобных глин и песчаников // Вестник МГСУ. 2018. Том 13. № 6 (117). С. 756–767.
5. Игнатов С. В. Комплексные исследования несущей способности оснований фундаментов и каркаса здания в условиях реконструкции // Вестник ПГУ. Серия F: Строительство. Прикладные науки. 2017. № 16. С. 77–86.
6. Наумкина Ю. В. Экспериментальные исследования взаимодействия системы усиления ленточных фундаментов с предварительно напряжённым грунтовым основанием // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 1 (36). С. 73–77.
7. Евтушенко С. И., Шутова М. Н., Калафатов Д. А. Анализ сходимости результатов опытов и результатов расчёта МКЭ на примере конструкций плитного фундамента // Вестник ВГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2018. № 53 (72). С. 15–24.
8. Мишин С. А., Борозенец Л. М. Экспериментальное исследование несущей способности и деформации основания одиночной буровой сваи и односвайно-плитного фундамента // Молодой учёный. 2016. № 7. С. 120–128.
9. Димов Л. А., Димов И. Л., Богушевская Е. М. Осадка и крен крупного резервуара для нефти при гидравлическом испытании // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 3. С. 31–35.
10. Сабитов Л. С., Кашапов Н. Ф., Киямов И. К., Стрелков Ю. М. Теоретико-экспериментальный метод определения напряжённо-деформированного состояния тест-образца «опора-фундамент-грунт» // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 10. С. 27–30.

Mirsayapov Ilshat Talgatovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: itmir@kgasu.ru
Nikitin Georgy Petrovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: g.nikitin@gap-rt.ru
Kazan state University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya str., 1
Khanbekov Midkhat Faridovich
head of OGK group
E-mail: m.khanbekov@gap-rt.ru
Mirsayapov Arslan Ilshatovich
engineer
E-mail: a.mirsayapov@gap-rt.ru
JSC «Kazan Giproniiaviaprom»
The organization address: 420127, Russia, Kazan, Dementev st., 1

Full-scale tests of the slab foundation for high-precision equipment with simulation of the moving part of the machine by gradual loading

Abstract

Problem statement. The purpose of full-scale tests was to study the foundation and the soil mass at the stage-by-stage loading of the foundation with the assessment of its ultimate deflection and roll.

Results. The main results of the study are to determine the stress-strain state of the system «foundation-frame», to identify patterns of deflection of the slab foundation and its roll in the simulation of the moving part of the machine.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to choose the type of foundation for high-precision equipment with moving parts, establishing its optimal dimensions, taking into account engineering-geological conditions.

Keywords: slab foundation, full-scale tests, high-precision equipment, precipitation and roll of the foundation, rigidity of the «foundation-frame» system.

References

1. Mirsayapov Ilshat T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundation under cyclic loading : dig. of art. 1st International conference on energy geotechnics / ICEGT. Kiel. Germany. 2016. P. 423–428.
2. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Shakirzyanov D. D. Calculation model of foundation base settlement at the static and cyclic regime loading : dig. of art. 1st International conference on energy geotechnics / ICEGT. Kiel. Germany. 2016. P. 429–434.
3. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Long-term Settlements Assessment of High-rise Building Groundbase Based on Analytical Ground Deformation Diagram: Proc. intern. symp. St.Petersbug. Russian Federation. ACUUS 2016. 15th International Scientific Conference «Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development». Vol. 165. 2016. P. 519–527.
4. Ponomarev A. B., Siccine E. N. Experimental field studies of deformation of argillit-like clays and sandstones of // Vestnik MGSU. 2018. Vol. 13. № 6 (117). P. 756–767.
5. Ignatov S. V. Complex study of the bearing capacity of foundation and the building frame in terms of reconstruction // Vestnik PGU. Seriya F: Stroitel'stvo. Prikladnyye nauki. 2017. № 16. P. 77–86.
6. Naumkina Y. V. Experimental studies of the interaction of the reinforcement system of belt foundations with prestressed soil base // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2013. № 1 (36). P. 73–77.
7. Evtushenko S. I., Shutova M. N., Kalafatov D. A. Analysis of convergence of the results of experiments and calculation results of the finite element method on the example of slab foundation structures // Vestnik VGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2018. № 53 (72). P. 15–24.
8. Mishin S. A., Borozenets L. M. Experimental study of the bearing capacity and deformation of the base of a single drill pile and a single-pile slab foundation // Molodoy uchonyy. 2016. № 7. P. 120–128.
9. Dimov L. A., Dimov I. L., Bogushevskaya E. M. Sediment and roll of a large reservoir for oil during hydraulic testing // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2017. № 3. P. 31–35.
10. Sabitov L. S., Kashapov N. F., Kiyamov I. K., Strelkov Yu. M. Theoretical and experimental method for determining the stress-strain state of the test sample «support-foundation-soil» // Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzh'ya. 2018. № 10. P. 27–30.

УДК 693;539.4
Страхов Дмитрий Евгеньевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: strachovde@mail.ru
Гимранов Линур Рафаилевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: leenur@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Нураев Игорь Александрович
инженер
E-mail: nuraev.ig@gmail.com
Производственно-строительное объединение «Казань»
Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. Толстого, д. 14а

Исследование снегоблокирующих заграждений фальцевого типа кровли

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – проведение испытаний крепления защитного ограждения крыши, нагрузкой, применимой для данных конструкций, непосредственно на объекте и в лабораторных условиях. Выполнение численного эксперимента испытания снегоблокирующих заграждений крыши.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в получении несущей способности ограждения, как без применения предварительного натяжения креплений и болтов различных классов, так и при применении предварительного натяжения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в определении безопасной эксплуатации рассматриваемых элементов конструкций.

Ключевые слова: снегоблокирующие заграждения, фальцевая кровля, расчетные модели, безопасная эксплуатация, кровли, конструкции снегодержателей.

Введение

На сегодняшний день крыши зданий, предназначенные для защиты от осадков, ветра и солнечной радиации, становятся все сложнее и многообразнее в планах, в том числе, в виде сочетания различных сложных геометрических фигур. В целях правильной работы, кровля выполняется в виде системы наклонных плоскостей, данные скаты кровли в достижении архитектурной выразительности, проектируются с разными углами наклона, типами покрытий, и кровельными материалами. При этом не стоит забывать о безопасности данных элементов конструкций, в первую очередь это падение снежных масс в период интенсивного снеготаяния, влекущее за собой различное испорченное имущество, вплоть до человеческих жизней. Установка различных конструкций снегозадержателей способствует безопасности, и придает новый вид и архитектурную выразительность крышам.

В данной работе проведено исследование снегоблокирующих заграждений для фальцевого типа кровли, прикрепляющихся непосредственно к стоячему типу фальцев, не нарушающих целостности всей кровли. Проведено испытание крепления защитного ограждения крыши, нагрузкой, применимой для данных конструкций, непосредственно на объекте и в лабораторных условиях. Проведен численный эксперимент испытания снегоблокирующих заграждений крыши.

Получена несущая способность ограждения как без применения предварительного натяжения и болтов различных классов, так и при применении предварительного натяжения.

Исследование заграждений для фальцевого типа кровли

В выполненной работе, проведен анализ типового дефекта крепления ограждения, приведшего к обрушению конструкций ограждений (рис. 1).

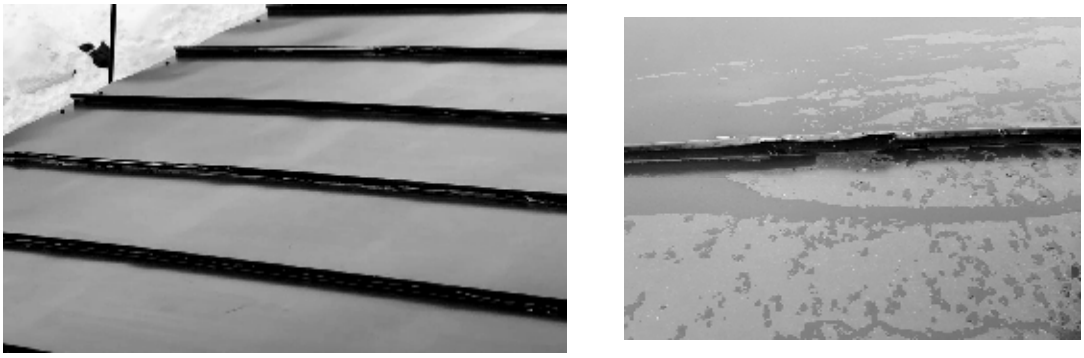


Рис. 1. Деформации фальцев после обрушения конструкции ограждения (иллюстрация авторов)

На практике, прочность ограждения крыш зданий проверяется путем прикладывания горизонтальной нагрузки 0,54 кН в точках, расположенных на расстоянии не более 10 м друг от друга по всему периметру здания.

Нагрузка удерживается в течение 2 минут. После снятия нагрузки, остаточной деформации и нарушения целостности конструкции быть не должно.

Натурное испытание ограждения произведено после воздействия на него снеговой нагрузки в период эксплуатации. Схема проведения испытаний ограждения крыши здания, и остаточные деформации, в виде проскальзывания элементов крепления ограждения, достигающие 6 мм (рис. 2).

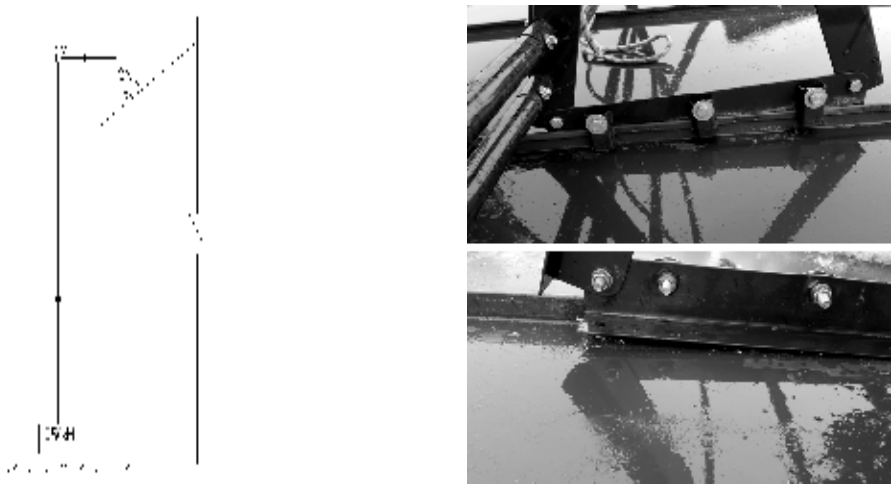


Рис. 2. Схема проведения натурных испытаний, деформации крепления (иллюстрация авторов)

Для всестороннего анализа конструкции крепления ограждения, выполнено два вида нагружений на испытательном стенде:

- нагрузка 0,54 кН с выдержкой в течение 2 минут;
- определение предельной нагрузки (предельной нагрузкой считалась такая нагрузка, при которой происходил отрыв крайнего кронштейна от фальца крыши).

Проведение испытаний ограждения крыши (рис. 3-5). Вид ограждения после проведения испытания (рис. 6-9).

По результатам испытаний сделаны следующие выводы:

- после снятия статически приложенной нагрузки 0,54 кН с выдержкой в течение 2 мин выявлены остаточные деформации элементов крепления по отношению к плоскости крыши (рис. 6-7). Остаточные деформации, проявившиеся вследствие проскальзывания элементов крепления и деформации фальцев, достигают 4 мм.
- определена предельная нагрузка, на ограждение крыши (предельной нагрузкой считалась такая нагрузка, при которой происходит отрыв крайнего кронштейна от фальца крыши, составляющая 70 кгс (рис. 8)).

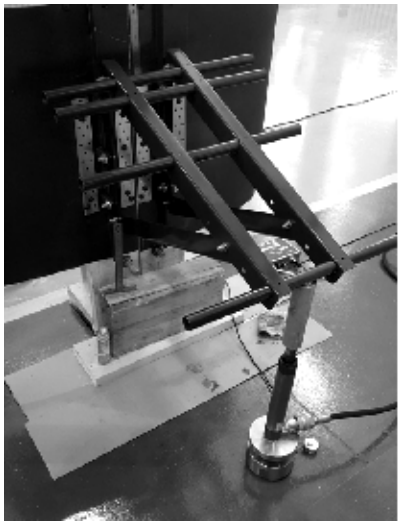


Рис. 3. Испытательный стенд (испытание ограждения крыши) (иллюстрация авторов)

Рис. 4. Испытательный стенд (испытание снегозадержателя крыши) (иллюстрация авторов)

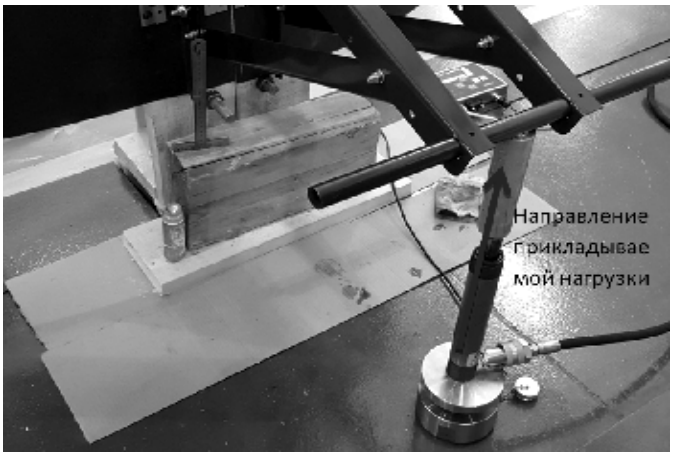


Рис. 5. Проведение испытаний ограждения крыши (иллюстрация авторов)

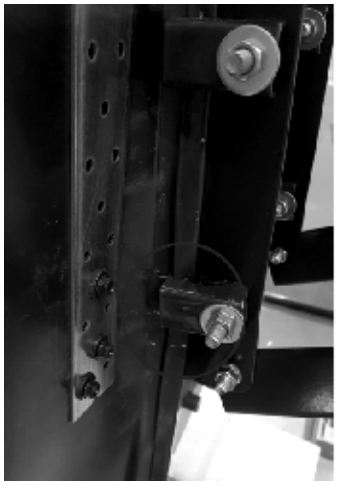


Рис. 6. Проведение испытаний ограждения крыши (деформации фальцев) (иллюстрация авторов)

Рис. 7. Проведение испытаний ограждения крыши (деформации фальцев) (иллюстрация авторов)

Рис. 8. Проведение испытаний ограждения крыши
(отрыв крайних креплений от фальца, деформация элементов ограждения) (иллюстрация авторов)

При установке снегодержателя в конструкцию ограждения крыши со смещением места приложения нагрузки (рис. 9), проведено определение предельной нагрузки, (предельной нагрузкой считалась такая нагрузка, при которой происходило проскальзывание креплений (сдвиг кронштейнов) по фальцу крыши), составившей по результатам испытаний 100 кгс.

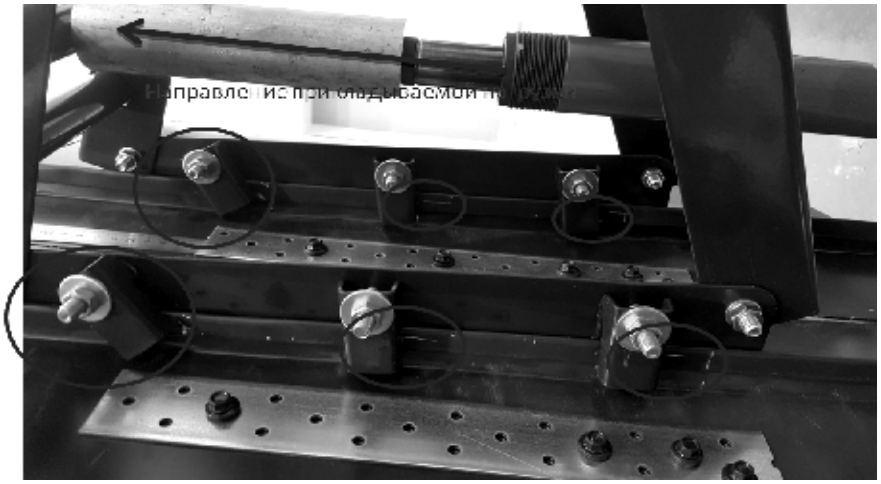


Рис. 9. Проведение испытаний снегозадержателя крыши
(проскальзывание креплений, разворот крайнего крепления) (иллюстрация авторов)

Численный эксперимент испытания ограждения крыши

Расчетная модель ограждения представляет собой конечно-элементную модель состоящую из: кронштейнов крепления к кровельным листам; участков кровельных листов в зоне фальцевания левый и правый; болтов М8; уголков ограждения для создания реальных условий загружения.

Расчетная модель кронштейна ограждения-снегозадержателя приведена на рис. 10. Вид кронштейна крепления ограждения к крыше (рис. 11).

В качестве нагрузки прикладывается погонная нагрузка уголку ограждения вдоль ската кровли. Рассматривается только скатная составляющая

Погонная нагрузка определялась как:

$$q_r = g_{sp} \cdot Sin\alpha \cdot b,$$

где g_{sp} – расчетная снеговая нагрузка, α – угол наклона кровли, b – шаг кронштейнов.

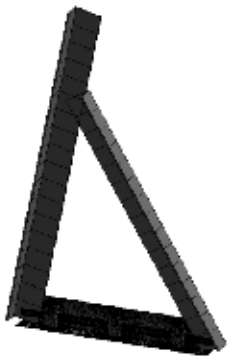


Рис. 10. Расчетная модель ограждения (иллюстрация авторов)

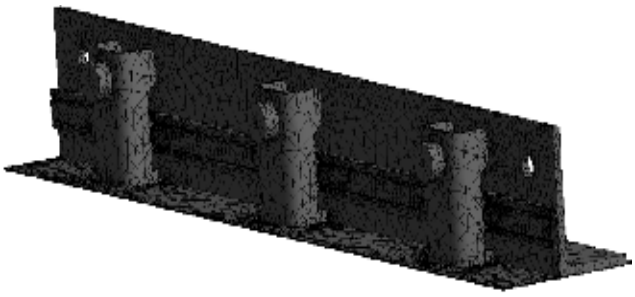


Рис. 11. Кронштейны крепления ограждения к крыше в зоне фальцевого стыка (иллюстрация авторов)

Для определения критической погонной нагрузки на ограждение прикладывалась приблизительная нагрузка в 200 кг/м. Критическим значением этой нагрузки считалось то значение нагрузки, при котором была выявлена нелинейная работа модели, или сходимость расчета не обеспечивалась.

Результаты расчета отображаются для двух этапов нагружения:

- затяжка всех болтов с контролируемым натяжением до $0{,}7 \cdot R_{bun}$ высокопрочных болтов класса 10.9.
- приложение погонной нагрузки к ограждению от 0 до 200 кг/м.

Результаты расчетов приведены на рис. 12-15.

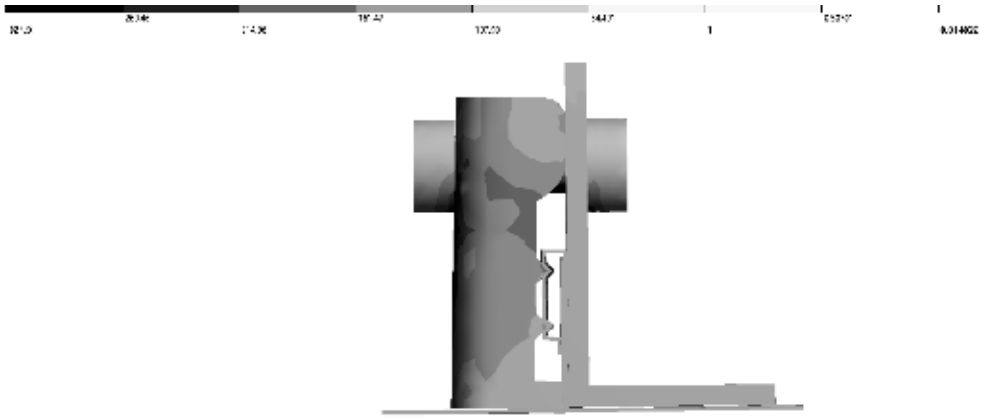


Рис. 12. Распределение приведенных напряжений в кронштейне при затяжке болтов (иллюстрация авторов)

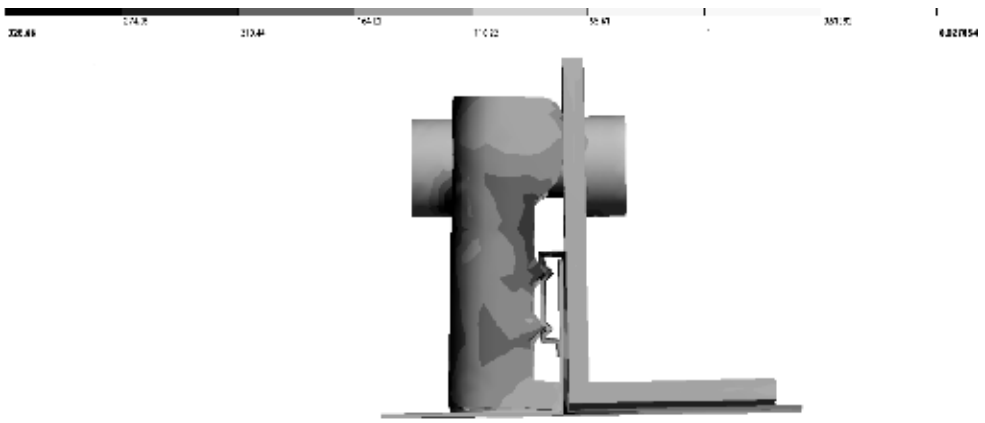


Рис. 13. Распределение приведенных напряжений в кронштейне при исчерпании несущей способности ограждения (иллюстрация авторов)

Рис. 14. Деформации в кровельном листе в момент исчерпания несущей способности (иллюстрация авторов)

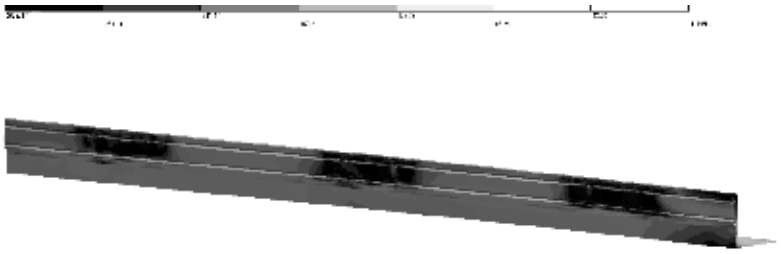


Рис. 15. Мозаика приведенных напряжений в момент исчерпания несущей способности ограждения (иллюстрация авторов)

Исчерпание несущей способности ограждения происходит в момент выскальзывания зуба из фальца у кронштейна, работающего на отрыв (рис. 16).

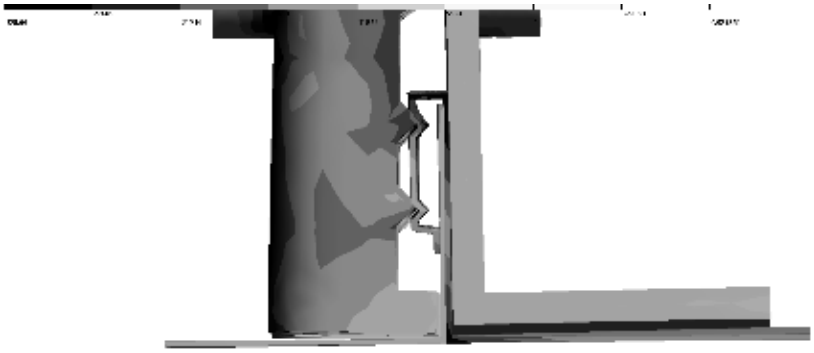


Рис. 16. Момент выскальзывания зуба из зацепа (иллюстрация авторов)

График зависимости горизонтального перемещения верхнего конца ограждения от поэтапного приложения нагрузки приведено на рис. 17.

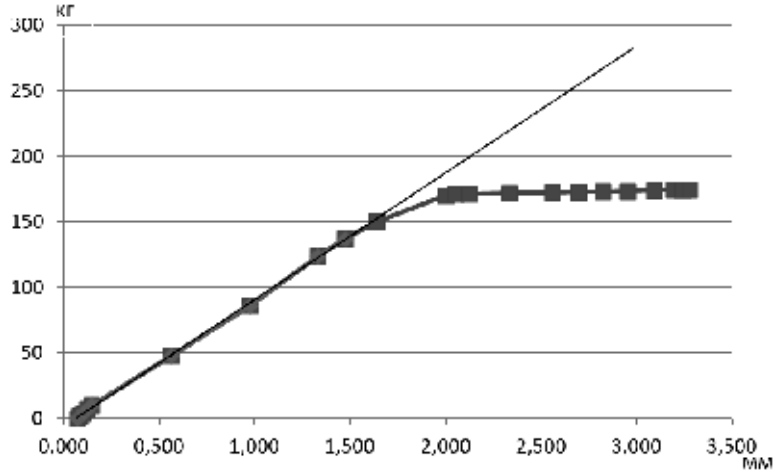


Рис. 17. График зависимости перемещений ограждения от приложенной нагрузки (иллюстрация авторов)

Анализируя график, можно сделать вывод, что исчерпание нагрузки происходит при значении погонной нагрузки равному 140 кг/м.

Учитывая коэффициент надежности равный 1,3, критическое значение погонной нагрузки при затяжке из высокопрочных болтов класса 10.9 составит:

$$[q_{кр}10,9]=140/1,3=107,7 \text{ кг/м},$$

что так же соответствует локальной, приложенной на конце, нагрузке равной:

$$F=[q_{кр}10,9]\cdot l/2=107,7\cdot 0,61/2=32,8 \text{ кг}.$$

Несущая способность ограждения-снегоудержателя обеспечена если:

$$q_г < [q_{кр}10,9].$$

Оценивая напряжено-деформированное состояние узла крепления кронштейна, и анализируя характер исчерпания несущей способности, можно сделать вывод, что ключевым фактором, приводящим к потере зацепа зубом в кровельном листе в месте фальца, является сама геометрическая форма кронштейна с зубьями. При любом значении предварительного натяжения в болте, его влияние нивелируется геометрией кронштейна, так как он имеет «П»-образную форму. Принципиальную статическую схему «П»-образного кронштейна можно охарактеризовать как схему консольной балки, заделка которой обеспечивается прижатием верхней части «П»-образного кронштейна к уголку (рис. 18) с разложением момента заделки на пару сил F. Загружение в схеме осуществляется движением уголка вверх, при этом зуб, упираясь в углубление в кровельном листе, создает усилие от опорной реакции.

Выбор болтов марки 10.9 для создания предварительного натяжения был осуществлен намеренно для выявления максимальной несущей способности ограждения-снегоудержателя с «П»-образным кронштейном в данной конфигурации. Однако, учитывая выше сказанное, усилие преднятяжения болтов слабо влияет на несущую способность соединения. Стоит отметить, что полное отсутствие затяжки болтов и установка кронштейнов с люфтом заведомо является аварийной ситуацией и в расчетах не рассматривается.

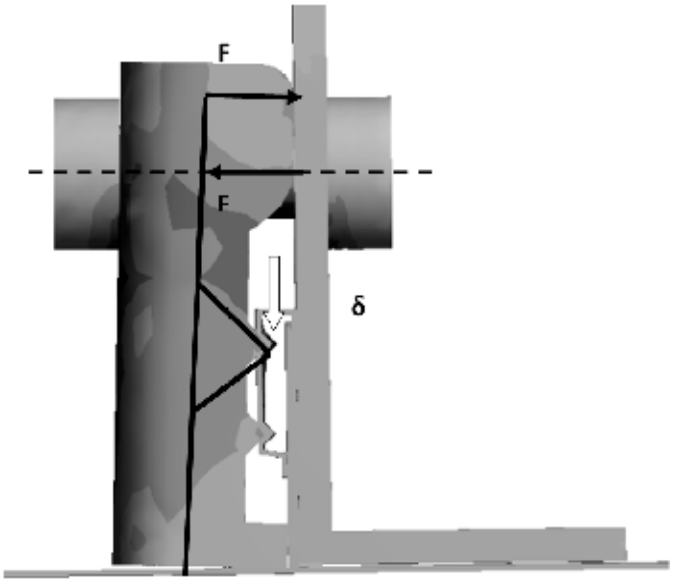


Рис. 18. Принципиальная схема работы кронштейна (иллюстрация авторов)

В качестве подтверждения данной гипотезы работы кронштейна было проведено численное моделирование при отсутствии какого-либо преднатяжения болтов. Его результаты (пунктирная линия) приведены на рис. 19.

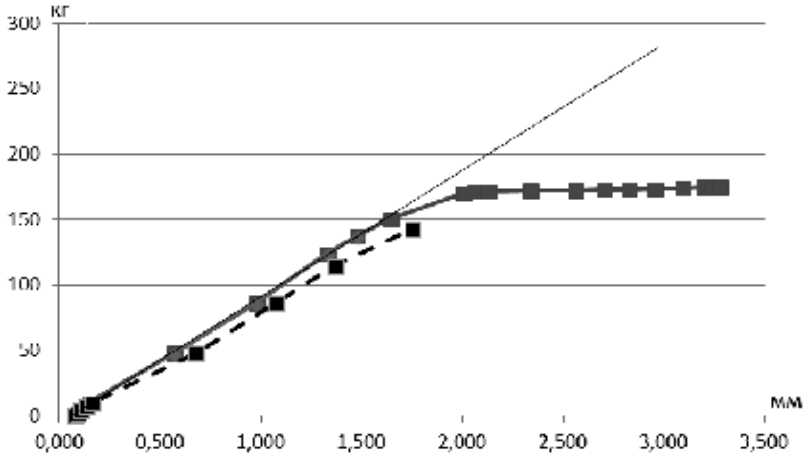


Рис. 19. График зависимости перемещений ограждения от приложенной нагрузки (иллюстрация авторов)

Анализируя график можно сделать вывод, что исчерпание нагрузки происходит при значении погонной нагрузки равного 114 кг/м.

Учитывая коэффициент надежности равный 1,3, критическое значение погонной нагрузки при затяжке из болтов класса 5.8 без контролируемого натяжения:

$$[q_{кр}5,8]=114/1,3=87,6 \text{ кг/м},$$

что так же соответствует локальной нагрузке приложенной на конце нагрузке равной:

$$F=[q_{кр}5,8]\cdot l/2=87,6\cdot 0,61/2=26,7 \text{ кг}.$$

По результатам проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

Несущая способность ограждения, при применении предварительного натяжения и болтов классом 10.9, составляет 107,7 кг/м или 32,8 кг в эквиваленте локальной силы, приложенной в верхней точке ограждения;

Несущая способность ограждения без применения предварительного натяжения и болтов классом 5.8 составляет 87,6 кг/м или 26,7 кг в эквиваленте локальной силы, приложенной в верхней точке ограждения.

Заключение

Проведение испытаний крепления защитного ограждения крыши нагрузкой, применимой для данных конструкций, непосредственно на объекте и в лабораторных условиях, а также численный эксперимент испытания снегоблокирующих заграждений крыши, позволил определить несущую способность ограждения, как без применения предварительного натяжения креплений и болтов различных классов, так и при применении предварительного натяжения. Данные виды исследований позволили определить значения нагрузок, для безопасной эксплуатации рассматриваемых элементов конструкций.

Список библиографических ссылок

1. James Buska, Wayne Tobiasson. Minimizing The Adverse Effects Of Snow And Ice On Roofs // International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST-2001) Ottawa, Canada. P. 339–346.
2. Mackinlay I., Flood R., Heidrich A. Roof Design in Regions of Snow and Cold // Proceedings, Fourth International Conference on Snow Engineering, Balkema, Rotterdam. P. 213–224.
3. Tobiasson W. General Considerations for Roofs. Chapter 16 in ASTM Manual 18, Moisture Control in Buildings, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA. P. 291–320.

4. Кренке А. Н. Динамика масс снега и льда. Л. : Гидрометеоиздат, 1985. 456 с.
5. Дедовской И. В. Анализ теории максимальных значений веса снега на грунте // Вестник гражданских инженеров. 2004. № 1. С. 56–60.
6. Савельев В. А., Малый В. И., Павлов А. В., Калашников Г. В., Мейтин В. И. Предложения по назначению расчетной снеговой нагрузки // Пром. и гражд. стр-во. 2008. № 5. С. 25–28.
7. Ледовской И. В. О накоплении снега на грунте : сб. трудов Межвуз. темат. Исследования по механике строительных конструкций и материалов / СПбГАСУ. СПб., 2002. С. 70–89.
8. Ледовской И. В. Снеговая нагрузка на покрытие отапливаемого здания // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 2 (15). С. 31–36.
9. Кузнецов И. Л., Салахутдинов М. А., Гайнетдинов Р. Г. Исследование напряженно-деформированного состояния болтового узла соединения из холодногнутых тонкостенных профилей // Вестник МГСУ. 2019. № 7. С. 831–843.
10. Кузнецов И. Л., Фахрутдинов Р. Р., Рамазанов Р. Р. Результаты экспериментальных исследований работы соединений тонкостенных элементов на сдвиг // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 34–43.
11. Jozef Oláh1, Michal Šida1. Contribution to the snow protection solutions for pitched roofs» // MATEC Web of Conferences 93. 2017. 47, 010.
12. Просяников Б. Д. Болтовое соединение с взаимным продавливанием соединяемых тонкостенных профилей // Вестник томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (55). С. 130–138.

Strahov Dmitry Evgenievich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: strahov@kgasu.ru
Gimranov Linur Rafailevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: leenur@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Nuraev Igor Alexandrovich
engineer
E-mail: nuraev.ig@gmail.com
Industrial and Construction Association «Kazan»
The organization address: 420015, Russia, Kazan, Tolstoy st., 14a

Researching of snow retention system on welted seam pitched roofs

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to determine load bearing capacity of a particular snow retention system installed on pitched, welted seam roofs by utilizing bolt tightened locks.

Results. The main results of the research includes obtained theoretical and experimental values of load bearing capacity of roof snow retention system installed on pitched welted seam roof elements with particular type of locking mechanism. Also as a result of a study failure mode and sequence is established and determined advantages and disadvantages of snow retention system of interest.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry is in the values of load bearing capacity of such retention system. Obtained failure modes of the retention system its pros and cons.

Keywords: snow retention system, welted seam roofs, FEM analysis, experimental studies.

References

1. James Buska, Wayne Tobiasson. Minimizing The Adverse Effects Of Snow And Ice On Roofs // International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST-2001) Ottawa, Canada. P. 339–346.
2. Mackinlay I., Flood R., Heidrich A. Roof Design in Regions of Snow and Cold // Proceedings, Fourth International Conference on Snow Engineering, Balkema, Rotterdam. P. 213–224.
3. Tobiasson W. General Considerations for Roofs. Chapter 16 in ASTM Manual 18, Moisture Control in Buildings, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA. P. 291–320.
4. Krenke A. N. Dinamics of snow and ice masses. L. : Gidrometeoizdat, 1985. 456 p.
5. Dedovskoj I. V. Analysis of the theory of maximum snow weight on the ground // Vestnik grazhdanskih inzhenerov, nauchno-tehn. 2004. № 1. P. 56–60.
6. Savel'ev V. A., Malyj V. I., Pavlov A. V., Kalashnikov G. V., Mejtin V. I. Suggestions for the designation of the estimated snow load // Prom. i grazhd. str-vo. 2008. № 5. P. 25–28.
7. Ledovskoy I. V. On the accumulation of snow on the ground: collection. Proceedings of the University. topics Studies in the mechanics of building structures and materials / SPbGASU. St. Petersburg, 2002. P. 70–89.
8. Ledovskoj I. V. Snow load on a heated building covering // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2008. № 2 (15). P. 31–36.
9. Kuznetsov I. L., Salakhutdinov M. A., Gainetdinov R. G. Investigation of the stress-strain state of a bolt joint assembly from cold-formed thin-walled profiles // Vestnik MGSU. 2019. № 7. P. 831–843.
10. Kuznetsov I. L., Fakhrutdinov R. R., Ramazanov R. R. The results of experimental studies of the work of compounds of thin-walled elements in shear // Vestnik MGSU. 2016. № 12. P. 34–43.
11. Jozef Oláh1, Michal Šida1. Contribution to the snow protection solutions for pitched roofs» // MATEC Web of Conferences 93. 2017. 47, 010.
12. Prosjanikov B. D. Bolt joint with mutual punching of connected thin-walled profiles // Vestnik tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. № 2 (55). P. 130–138.

УДК 624.012.82
Фабричная Ксения Александровна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: fabrichnayaka@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Шарафутдинова Камилла Иршатовна
инженер 3 категории
E-mail: info@tatsert.ru
ООО Центр сертификации «ТАТСЕРТ»
Адрес организации: 420107, Россия, г. Казань, ул. Петербургская, д. 40

К вопросу усиления сводов (типа «Монье») композитными материалами при реконструкции

Аннотация

Постановка задачи. В настоящее время в нормативных документах отсутствует методика оценки прочности и деформативности кирпичных сводов по металлическим балкам (типа «Монье») при усилении композитными материалами, в связи с этим ее разработка является актуальной задачей.

Результаты. Выполнены статические расчеты фрагмента сводчатого перекрытия по стальным балкам с учетом наличия дефектов конструкций, увеличения нагрузки на перекрытие, использования различных схем усиления двумя видами композитных материалов. Установлены деформации элементов, характерные зоны распределения напряжений, последовательность и характер образования трещин для образцов без усиления и дефектов, без усиления с дефектом, при различных схемах усиления композитными материалами на всех этапах нагружения до виртуального разрушения конструкции. Сравнение результатов для различных вариантов усиления позволило установить наиболее эффективную из рассмотренных схем. Получены величины трещинообразующих и разрушающих нагрузок для всех рассмотренных конструкций.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в подтверждении эффективности использования композитных материалов для усиления сводов типа Монье. Предложена методика оценки прочности и деформативности сводов по стальным балкам при усилении композитными материалами, позволяющая оценить эффективность конструктивного решения.

Ключевые слова: своды, арки, напряженно-деформированное состояние (НДС), усиление, композитные материалы, методика расчета.

Введение

В России сохранилось множество зданий с перекрытиями из кирпичных сводов по металлическим балкам постройки начала двадцатого века, причем многие из них являются памятниками архитектуры и часто находятся в аварийном состоянии из-за физического износа или в связи с изменением силовых нагрузок. При реконструкции объектов культурного наследия замена исторических конструкций не допускается, поэтому особое внимание следует уделить восстановлению их работоспособности без значительного изменения внешнего вида конструкции. Традиционные способы усиления каменных конструкций – стальные и железобетонные обоймы, металлические пояса и накладки, перекладка кладки – трудоемки в реализации, дорогостоящи, изменяют внешний вид конструкции [1]. За рубежом для усиления сводов активно используются композитные материалы [2-4]. К последним, в частности, относятся композиты в виде ламелей, матов и сеток, изготавливаемые из углеродных, арамидных материалов и стекловолокон. К достоинствам таких систем усиления следует отнести высокую несущую способность, малые габариты и незначительный удельный вес, а также универсальность и возможность применения для любых форм и очертаний усиливаемых конструкций. Однако массовое применение подобных материалов для усиления в отечественной практике сдерживается

отсутствием методик расчета сводчатых конструкций, то есть трудно определить эффективность этого способа. Для формирования методики расчета необходимо получить ясное представление о характере напряженно-деформированного состояния конструкции до и после усиления. Получить требуемую картину можно в рамках численных и физических экспериментальных исследований.

Обзор исследований усиления сводов композитными материалами

Зарубежные исследователи доказали эффективность усиления кирпичных сводов композитными материалами [5-7]. В отечественной практике больше исследовано усиление композитами кирпичных столбов и простенков [8, 9], что нашло свое отражение в рекомендациях по расчету обойм в СП 427.1325800.2018 «Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления» и СТО 38276489.002-2017 «Усиление каменных и армокаменных конструкций композитными материалами. Проектирование и технология производств работ». Есть отдельные работы, посвященные усилению кирпичных сводов композитными материалами [10]. Однако усиление кирпичных сводов, комбинированных с металлическими балками, недостаточно изучено. Экспериментальное исследование не усиленных сводов по стальным балкам выполнялось в Санкт-Петербурге, однако материалом сводов выступал бетон [11]. Там же, в здании «Склады» Новой Голландии, проведены натурные испытания поврежденных каменных сводов по двутавровым балкам и исследованы различные способы усиления композитами с использованием ПК Abaqus [12]. К характерным дефектам сводов авторы относят наличие отверстий в сводах, замачивание кладки, наличие трещин, которые могут влиять на несущую способность и деформативность перекрытия, снижая их в несколько раз. В работе [12] численно установлен следующий характер НДС сводов:

1) в армированной и в неармированной кладке образуется сеть микротрещин;

2) одна из микротрещин начинает развиваться – для неармированной кладки она является разрушающей, у армированной кладки композитная сетка на определенном этапе препятствует дальнейшему развитию трещины и, вследствие этого, после остановки ее роста, начинается рост следующей трещины;

3) разрушение армированной кладки происходит при достижении предела прочности на срез из-за роста касательных напряжений вследствие разности деформаций материала свода и элементов усиления.

Таким образом, сделан вывод о необходимости выбора такой системы усиления, у которой деформационные показатели будут наиболее близкими к кладке. Однако, кроме рассмотренных выше дефектов, часто встречается коррозия стальных балок, влияние которой так же необходимо учесть в исследованиях.

Общий план исследования

Исходя из вышеизложенного, и по результатам обследования реальных объектов, авторами настоящего исследования были определены геометрические характеристики сводов, их характерные дефекты [13] и выбраны материалы системы усиления:

– Ruredil X Mesh (Руредил Икс Меш) – международная запатентованная система усиления строительных конструкций, состоящая из сетки из углеволокна и раствора, используемого в качестве клея на основе портландцемента с пуццолановой и др. добавками, которые являются химически, физически и механически совместимыми с кирпичной кладкой;

– система внешнего армирования CarbonWrapTape-530/600 – однонаправленные ленты, изготовленные из углеродных волокон, получаемых путем высокотемпературного воздействия в инертной среде на органические волокна.

Первая из систем активно используется в Европе при усилении железобетонных, каменных и кирпичных сводов, вторая – нашла широкое применение при восстановлении, ремонте, усилении, сейсмоусилении железобетонных, бетонных, каменных, стальных, деревянных конструкций.

Исследовался фрагмент перекрытия пролетом пять метров, с шагом балок один метр, толщиной кирпичной части 120 мм, стрела подъема 120 мм, балки двутавровые № 16 немецкого нормального сортамента, максимальная прочность элементов кладки

М100 и М50 для кирпича и раствора соответственно. Рассмотрено возможное увеличение нагрузки на свод, ухудшение физико-механических характеристик кладки, различное расположение элементов усиления двух видов, сплошное и локальное расположение элементов усиления.

Для усиленного свода подобран проверочный расчет, позволяющий оценить его прочность и деформативность.

Численные исследования сводов

Численные исследования сводов выполнялись в несколько этапов: исследование влияния различных дефектов на напряженно-деформированное состояние, исследование влияния выбранных систем, с учетом вариантов их применения. На первом этапе использовался ПК Лира. Установлено, что из всех дефектов на напряжение в кладке сводов, наибольшее влияние оказывает уменьшение прочности кладки, вызванное попеременным замораживанием/оттаиванием. На втором этапе оценивалось состояние эталонного, поврежденного сводов и усиленных образцов в ПК «ANSYS» в нелинейной постановке задачи. Программа второго этапа исследований приведена на рис. 1.

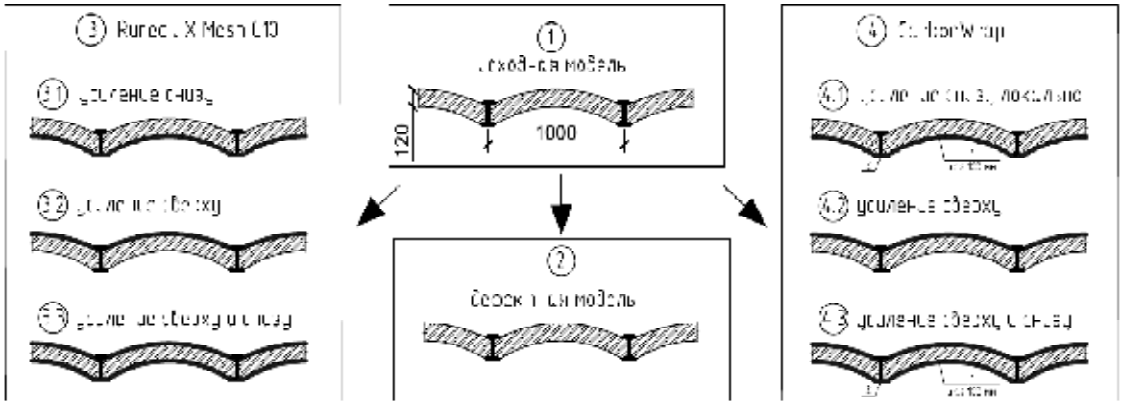


Рис. 1. Программа численных исследований (иллюстрация авторов)

Оценка достоверности методики численного моделирования выполнена путем сравнения с результатами физического эксперимента [13], показавшего хорошую сходимость. К фрагментам перекрытия прикладывалась равномерно распределенная нагрузка от 100 до 1000 кг/м^2 с шагом 100 кг/м^2 до виртуального разрушения конструкции. Учитывалось возможное снижение прочности кладки от 20 до 80 % вследствие дефектов. Кладка рассматривалась как гомогенный элемент, свойства которого под нагрузкой предложены в работе Кашеваровой [14]. Произведена оценка влияния ширины углеродной ленты (150 мм и 300 мм) и ее шага от 100 до 300 мм на несущую способность усиленного свода.

В результате расчетов получен характер распределения напряжений на каждом этапе, величина деформаций, установлены трещинообразующие и разрушающие нагрузки (табл. 1). Стоит отметить, что разрушение всех рассматриваемых конструкций происходит по кладке, то есть предельные напряжения возникают раньше в кирпиче, чем в балках. Это говорит о том, что усиление в большей степени требуется кирпичной кладке. Вариант и система усиления влияют на характер распределения напряжений в материале свода, однако в металлических балках характер распределения напряжений не меняется.

Установлено, что наибольший эффект дает усиление системой CarbonWrap, а использование отдельных полос делает данное решение экономически выгодным. Среди вариантов расположения полос разных размеров наиболее эффективным решением оказалось усиление лентами шириной 150 мм с шагом 100 мм. Согласно результатам расчетов, максимальная эффективность усиления – повышение несущей способности в 2-2,5 раза достигается, когда прочность кладки снижена не более чем на 40 %, при 60 % разрушающая нагрузка увеличивается в 1,87 раз, при 80 % – в 1,39 раз.

Таблица 1

Величины трещинообразующих и разрушающих нагрузок

Вариант схемы свода	q_{crc}, кг/м^2	q_{ult}, кг/м^2
Без дефектов	300	600
С дефектом (снижение прочности кладки на 40 %)	100	400
	Ruredil X Mesh C10	
Усиление снизу сплошное	100	400
Усиление сверху сплошное	350	700
Усиление сверху и снизу сплошное	380	800
	CarbonWrap	
Усиление снизу локальное	300	600
Усиление сверху сплошное	400	900
Усиление сверху и снизу локальное	460	1000

Схема расположения элементов усиления значительно влияет на трещиностойкость и несущую способность сводов. При расположении снизу система Ruredil X Mesh C10 неэффективна, а CarbonWrap восстанавливает характеристики до неповрежденного элемента. При расположении сверху первая из систем повышает трещиностойкость в 3,5 раза, а прочность в 1,75 раз, превышая показатели неповрежденной конструкции, вторая система эффективнее в 4 раза и в 2,25 раз соответственно. Максимальное повышение показателей достигается при комбинированном расположении усиления. Однако с точки зрения экономической эффективности привлекательней локальное усиление, например, в нижней части только наклеивание вдоль балок с заведением на опорную зону сводов.

Методики оценки прочности и деформативности сводов

С учетом полученных результатов предлагается следующая методика оценки прочности сводов по металлическим балкам, усиленных композитными материалами. За основу принята гипотеза о том, что рабочая схема простого пологого свода может быть представлена как система независимых параллельных арок, где арки представляют собой частный случай свода, его плоскую модель. Если нагрузка вдоль свода не меняется, то о его несущей способности и деформациях можно судить по работе одной элементарной арки единичной ширины, являющейся, таким образом, рабочей схемой свода [15]. Однако особенностью рассматриваемых сводов является возможная податливость их опор при деформаций стальных балок, что так же необходимо учитывать при расчете. Поэтому алгоритм расчета состоит из двух этапов:

1. оценка несущей способности и жесткости свода как комбинированной балки (основной пролет перекрытия);

2. оценка несущей способности каменной кладки свода (до и после усиления) между балками.

Расчет свода как комбинированной балки

Рассмотрим первый этап. Свод оценивается как комбинированная балка (рис. 2), с приведением модулей упругости кирпичной и композитной частей сечения к общему материалу – стали, по аналогии с работами [16-18], через коэффициенты приведения модулей упругости $m_{св}$ и $m_{к.}$.

Модуль упругости кладки принимается согласно указаниям СП 427.1325800.2018 «Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления», при наличии дефектов учет повреждений можно принять по рекомендациям п. 7.1, в нашем случае принимаем сниженным до 15 % – учет замачивания свода.

Материал усиления, принятый для проверочных расчетов – лента из углеволокна CarbonWrap шириной b=150 мм, толщиной t=2 мм, наклеенная вдоль балки снизу в один слой. Основные характеристики материалов усиления, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики принятых материалов усиления

Вид материала	Прочность на растяжение, R_y, МПа	Модуль упругости, E, ГПа	Деформативность при разрыве, %
Ruredil X Mesh C10	48000	240	1,8
CarbonWrap	98000	245	1,8

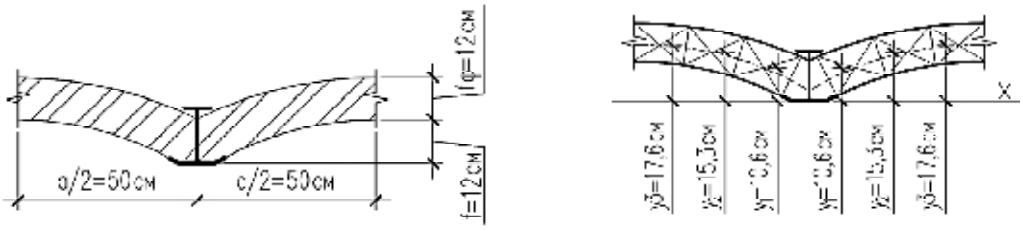


Рис. 2. Размеры приведенного сечения и определение центров тяжести в участках сводов (иллюстрация авторов)

Далее определяем суммарный статический момент, приведённый к металлу, разбивая участок свода на прямоугольники, шириной 140 мм (рис. 2):

$$\sum S_x = \frac{2S_{x_{св}}}{m_{св}} + \frac{2S_{x_к}}{m_к} + S_{x_б}, \quad (1)$$

где $S_{x,св}$, $S_{x,б}$, $S_{x,к}$ – статические моменты свода, балки и композита относительно оси x соответственно, определяемые по формулам (2)-(4):

$$S_{x\text{св}} = \sum F_i \cdot y_i, \quad (2)$$

где F_i – площадь i-ого участка свода, y_i – расстояние от центра тяжести i-ого участка свода до оси x;

$$S_{x_б} = \text{А}_б \cdot \left(\frac{h}{2} + t\right), \quad (3)$$

где $A_б$ – площадь сечения балки, h – высота балки, t – толщина композитного материала;

$$S_{x_к} = \sum F_к \cdot y_к, \quad (4)$$

где F_k – площадь композитного материала, y_k – расстояние от центра тяжести композитного материала до оси x.

Далее определяем положение центра тяжести комплексного сечения по формуле (5):

$$y_{ц.т.} = \frac{\sum S_x}{A_{red}}. \quad (5)$$

Аналогично определяем центры тяжести сечений свода, балки, композита.

Определяем момент инерции приведённого сечения относительно нейтральной оси по формуле (6):

$$I_{red} = I_б^0 + \text{А}_б \cdot \text{у}_1^2 + \frac{I_{\text{св}}^0}{m_{\text{св}}} + \frac{\text{А}_{\text{св}}}{m_{\text{св}}} \cdot \text{у}_2^2 + \frac{I_к^0}{m_к} + \frac{\text{А}_к}{m_к} \cdot \text{у}_3^2, \quad (6)$$

где $I_б^0$ – момент инерции сечения балки относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения балки, y_1 – расстояние между центром тяжести объединённого сечения и центром тяжести балки, $I_{\text{св}}^0$ – момент инерции сечения свода относительно собственной центральной оси, y_2 – расстояние между центром тяжести объединённого сечения и центром тяжести свода, $I_к^0$ – момент инерции композитного материала относительно собственной центральной оси, y_3 – расстояние между центром тяжести объединённого сечения и центром тяжести композитного материала.

Момент инерции сечения свода относительно собственной оси определяется по формуле (7):

$$I_{\text{св}}^0 = \int_0^F y_i^2 dF = \sum F_i y_i^2, \quad (7)$$

где F_i – площадь i-ого участка свода; y_i – расстояние от центра тяжести объединённого сечения до i-ого участка свода.

Момент инерции композитного материала относительно собственной оси определяется по формуле (8):

$$I_к^0 = \frac{bt^3}{12}, \quad (8)$$

Далее определяем моменты сопротивления для верхней и нижней граней балки по формулам (9)-(10):

$$W_в = \frac{I_{red}}{y_в}, \quad (9)$$

$$W_н = \frac{I_{red}}{y_н}, \quad (10)$$

где $y_в$ и $y_н$ – расстояния от центра тяжести объединённого сечения до верхней и нижней грани балки соответственно.

Напряжения в расчётных точках балки определяются из условий (11)-(12) и для оценки прочности сравниваются с расчетными сопротивлениями стали:

$$\sigma_в = \frac{M}{W_в} \le R_y\gamma_c, \quad (11)$$

$$\sigma_н = \frac{M}{W_н} \le R_y\gamma_c, \quad (12)$$

где $\sigma_в$ и $\sigma_н$ – напряжения в верхней и нижней расчётных точках балки, R_y – расчётное сопротивление стали балки; γ_c – коэффициент условий работы балки.

Прогиб балки оценивается из условия (13):

$$f = \frac{5q_n l_0^4}{384\,EI_{red}} < [f], \quad (13)$$

где $[f]$ – допустимый прогиб балки, E – модуль упругости стали.

Результаты, полученные по предлагаемой методике, для варианта усиления балки углеродной лентой Carbon Wrap сравнивались с расчётом в ПК ANSYS и показали расхождение менее 10 %, табл. 3.

Таблица 3

Максимальные напряжения и прогибы в стальной балке перекрытия

Параметры	$\sigma_н$, кг/см^2	$\sigma_в$, кг/см^2	f,см
ANSYS	1390,893	1006,562	1,87
Методика	1475,03	998,82	1,68
Расхождение	5,7 %.	0,77 %	10,2 %

Оценка прочности свода между балками

На втором этапе, при расчёте прочности сводов (между балками), усиленных композитными материалами, известны методики [15], например, когда расчетная схема принимается как для шарнирно закрепленной арки единичной ширины (рис. 3), результаты дают значительное расхождение с результатами численных исследований как усиленной, так и не усиленной кладки, значительно, до 6 раз, завышая ее несущую способность. Другие методики [19] сложны для практического применения. Так же неприменима нормативная методика, предлагаемая для оценки прочности усиливаемых простенков.

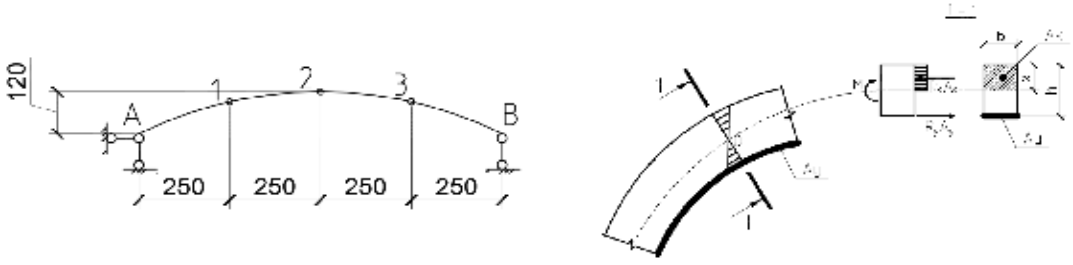


Рис. 3. Расчетная схема свода. Характерные точки сечения.
Расчетная схема для определения прочности поперечного сечения свода, усиленного углеродным холстом снизу (иллюстрация авторов)

Так как кирпичный свод конструкции имеет очень малый подъем (пологий свод), его разрушение предполагается от сдвига пяты свода по балке с поворотом относительно внутреннего угла. При этом проседает средняя часть свода, что приводит к образованию трещин в швах замковой части на нижней поверхности и зоны смятия на верхней поверхности конструкции.

Согласно отдельным исследованиям[1] наиболее опасным сечением является сечение 2, для которого проверку прочности, при наличии усиления с двух сторон, можно выполнить из условия (14), при усилении снизу из условия (15), (рис. 3):

$$M \le \left[R_k bx(h_o - 0{,}5x)\gamma_{01} + R_y A_y^1 h_o \gamma_{02}\right]\gamma_m, \quad (14)$$

$$M \le \left[R_y A_y h_o \gamma_{02} - R_k bx(h_o - 0{,}5x)\gamma_{01}\right]\gamma_m, \quad (15)$$

где x – высота сжатой зоны, R_k – расчетное сопротивление каменной кладки сжатию, R_y – расчетное сопротивление углеродного холста растяжению, h_0 – высота сечения свода в расчетном сечении, b – единичная ширина свода, A_y – площадь композитного материала снизу расчетного сечения свода; γ_{01} – коэффициент условий работы, учитывающий обжатие сжатой зоны каменного свода при наклейке углеродного холста, в практических расчетах рекомендуется принимать не более 1,2, γ_{02} – коэффициент условий работы, учитывающий предварительное напряжение растянутой зоны углеродного холста при наклейке в растянутой зоне, в практических расчетах рекомендуется принимать не более 1,6, γ_m – коэффициент, учитывающий совместную работу элементов усиления и каменного свода, в практических расчетах рекомендуется принимать не более 1,2.

Как для внецентренно сжатого элемента, условие прочности свода можно записать в виде (16):

$$N \le \varphi R_k F_c, \quad (16)$$

где F_c – площадь сжатой зоны сечения; φ – коэффициент продольного изгиба арки, принимаемый в зависимости от гибкости арки ($\lambda = S_o/h_c$) и упругой характеристики кладки α. При определении гибкости, $S_0 = 0{,}54S$ – расчетная длина арки принимается как для двухшарнирной арки, где S – длина участка арки, способного свободно деформироваться в соответствии с принятой расчетной схемой, то есть длина оси арки между условными шарнирами.

Основным показателем устойчивости и работоспособности арочной конструкции, сложенной из кирпича или камня является высота сжатой зоны x. По известным методикам [15] для любого внецентренно сжатого сечения свода высота сжатой зоны приблизительно равна удвоенному расстоянию от точки приложения нормальной силы до ближайшего края сечения (17):

$$\text{o} = \left(\frac{h}{2} - e\right)2, \quad (17)$$

где e – эксцентриситет приложения нормальной силы относительно центра сечения, принимаемый не более 0,7y, где y – расстояние от центра тяжести сечения до его края в сторону эксцентриситета. Высота сжатой зоны, определенная по условию (16) составила 36 мм, то есть приблизительно четверть высоты свода. Формула (18), предложенная авторами[1] при двустороннем усилении углеродными холстами, учитывает наличие элементов армирования:

$$x = \frac{R_y A_y \gamma_{01} - R_y A_y^1 \gamma_{02}}{R_k b}. \quad (18)$$

Результаты, полученные по формуле (18), в нашем случае так же несопоставимы с данными численных исследований. По результатам численных исследований, при нагрузке 100 кг/м^2, высота сжатой части сечения составляет более половины высоты свода и, при увеличении нагрузки, из-за эффекта обжатия композитной арматурой, только увеличивается. Распределение сжимающих напряжений по высоте неоднородно. Схожий характер распределения напряжений в каменных сводах получен и другими авторами [19].

Расчетное сопротивление Carbon Wrap растяжению при оценке прочности определялось по формуле (19):

$$R_y = \frac{\gamma_{f1}}{\gamma_f} R_{fn}, \quad (19)$$

[1]Попов А.О., Матвеев И.Ю., Курамшин К.В. Прочность по нормальным сечениям и деформативность кирпичных цилиндрических сводов, усиленных углеродными холстами // Известия КГАСУ. 2015. № 2. С. 173.

где γ_f – коэффициент надежности по материалу, принимаемый 1,8 для всех усиливающих элементов из углеродных волокон при расчете по первой группе предельных состояний (для двунаправленных и мультиаксиальных углеродных лент); γ_{fl} – коэффициент условия работы усиливающих элементов, учитывающий условия эксплуатации строительной конструкции, принимаемый для лент, сеток и тканей (во внутренних помещениях) равным 0,9; R_{fn} – нормативное сопротивление растяжению усиливающего элемента. При расчете строительной конструкции, усиленной СВА Carbon Wrap по предельным состояниям первой группы на действие только постоянных и длительных нагрузок расчетное сопротивление растяжению усиливающего элемента умножалось на понижающий коэффициент 0,8.

Значительное расхождение полученных значений свидетельствует о необходимости принципиально другого подхода к оценке прочности свода, учитывающего действительную пространственную работу элементов.

Заключение

1. В результате проведенных исследований установлена эффективность использования обеих рассмотренных систем для усиления сводов по металлическим балкам. Ленты Carbon Wrap Tape обеспечивают большую несущую способность, однако их максимальная эффективность достигается при наличии локальных дефектов. Вторая система оптимальна при большой площади повреждений, например, при замачивании, или большом количестве мелких трещин. Ее максимальная эффективность достигается при устройстве сверху, повышая несущую способность до 30 %.

2. Для усиления неповрежденных сводов рекомендуется расположение композитных материалов усиления сверху, расположение снизу неэффективно. Для поврежденных сводов усиление снизу позволяет повысить трещиностойкость только в случае использования карбоновых лент до 3-х раз, при устройстве усиления сверху до 4,5 раз, а несущая способность максимально увеличивается в 2 раза.

3. Известные методики расчета позволяют достаточно достоверно оценить несущую способность свода при усилении как комбинированной балки, то есть оценить работу стальных балок при усилении свода, однако оценка прочности усиленных сводов между балками нуждается в дальнейшей разработке, для чего желательно проведение натурных испытаний усиленных конструкций.

Список библиографических ссылок

1. Бедов А. И., Габитов А. И. Проектирование, восстановление и усиление каменных и армокаменных конструкций. М. : АСВ, 2006. 566 с.
2. Antonio Borri, Giulio Castori, Marco Corradi. Intrados strengthening of brick masonry arches with composite materials //Composites. 2011. Vol. 42. Part B. P. 1164–1172.
3. Laura Anania, Antonio Badala, Giusppe D' Agata. The post strengthening of the masonary vaults by the Ω-Wrap technique based on the use of C-FRP // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 47. P. 1053–1068.
4. Garmendia L., San-Jose J. T., Garcia D., Larrinaga P. Rehabilitation of masonry arches with compatible advanced composite material // Construction and Building Materials. 2011. Vol. 25. P. 4374–4385.
5. Ferit Cakir, Habib Uysal. Experimental modal analysis of brick masonry arches strengthened prepregcomposities // Journal of Cultural Heritage. 2015. Vol. 16. P. 284–292.
6. Francesca Giulia Carozzi, Gabriele Milani, Carlo Poggi. Mechanical properties and numerical modeling of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for strengthening of masonry structures // Composite structures. 2014. Vol. 107. P. 711–725.
7. Ilaria Cancelliere, Maura Imbimbo, Elio Sacco. Experimental tests and numerical modelling of reinforced masonry arches // Engineering Structures. 2010. Vol. 32. P. 776–792.
8. Соколов Б. С., Антаков А. Б. Исследования сжатых элементов каменных и армокаменных конструкций. М. : АСВ, 2010. 104 с.
9. Гасиев А. А., Грановский А. В. Динамические испытания образцов каменной кладки усиленных холстами из углеволокнистой ткани // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2015. № 2. С. 29–35.

10. Соколов Б. С., Павлов В. В., Хорьков Е. В. Конструктивно-технологические особенности восстановления эксплуатационной пригодности каменных сводчатых перекрытий : сб. ст. IV Международной (X Всероссийской) конференции НАСКР-2018 / Чувашский университет. Чебоксары. 2018. С. 323–329.
11. Лаптев Е. А. Оценка несущей способности перекрытий по стальным балкам с накатом в виде сводиков в зданиях Санкт-Петербурга : СППУ, СПб., 2016. 55 с.
12. Беспалов В. В. Прочность поврежденных каменных сводчатых конструкций исторических зданий. СПб. : СППУ, 2018. 93 с.
13. Фабричная К. А., Шарафутдинова К. И. К исследованию НДС кирпичных сводов (типа «Монье») при реконструкции : сб. ст. IV Международной (X Всероссийской) конференции НАСКР-2018 / Чувашский университет. Чебоксары, 2018. С. 338–344.
14. Кашеварова Г. Г., Зобачева А. Ю. Моделирование процесса разрушения. Кирпичной кладки : сб. трудов «К 50-летию кафедры строительных конструкций строительного факультета ПГТУ» / ПГТУ. Пермь, 2010. С. 106–113.
15. Бессонов Г. Б. Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. М. : Росреставрация. 1989. 164 с.
16. Исекеев И. Д., Трофимов А. В. Совершенствование методики расчета пологих железобетонных сводов, опирающихся на металлические балки // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 1 (66). С. 28–33.
17. Разживин А. В. Учет несущей способности бетонных сводов при поверочных расчетах сталебетонных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 3. С. 45–46.
18. Фролов А. В., Зимин С. С., Фролова Е. В. Методика расчета несущей способности балок с учетом жесткости кирпичного сводчатого заполнения // Международный научный журнал «Синергия наук». 2017. № 10. С. 593–619.
19. Беспалов В. В., Зимин С. С. Прочность каменной кладки сводчатых конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 11 (50). С. 37–51.

Fabrichnaya Ksenia Alexandrovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: fabrichnayaka@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Sharafutdinova Camilla Irshatovna
engineer of the 3rd category
E-mail: info@tatsert.ru
LLC Tsentr sertifikatsii «TATSERT»
The organization address: 420107, Russia, Kazan, Petersburg st., 40

On the issue of strengthening vaults («Monier» type) with composite materials in the reconstruction

Abstract

Problem statement. Currently, in normative documents there is no methodology for calculating the reinforcement of brick vaults on metal beams («Monier» type) with composite materials, and therefore its development is an urgent task.

Results. Static calculations of a fragment of vaulted ceilings on steel beams were performed taking into account the presence of structural defects, increased load on the floor and the use of various amplification schemes with two types of composite materials. Deformations of elements, characteristic zones of stress distribution, the sequence and nature of cracking for specimens without reinforcement and defects, without reinforcement with a defect, were established for various reinforcement schemes with composite materials at all stages of loading until the structure is virtually destroyed. A comparison of the results for various amplification options made it possible to establish the most effective of the considered schemes. The values of cracking and destructive loads for all considered structures are obtained.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to confirm the effectiveness of the use of composite materials to strengthen Monier type vaults. A technique for assessing the strength and deformability of arches on steel beams when reinforced with composite materials is proposed, which allows to evaluate the effectiveness of the structural solution.

Keywords: vault, arches, stress-strain state; reinforcement, composite materials, calculation methods.

References

1. Bedov A. I., Gabitov A. I. Design, restoration and strengthening of stone and reinforced stone structures. M. : ASV. 2006. 566 p.
2. Antonio Borri, Giulio Castori, Marco Corradi. Intrados strengthening of brick masonry arches with composite materials //Composites. 2011. Vol. 42. Part B. P. 1164–1172.
3. Laura Anania, Antonio Badala, Giusppe D' Agata. The post strengthening of the masonary vaults by the Ω-Wrap technique based on the use of C-FRP // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 47. P. 1053–1068.
4. Garmendia L., San-Jose J. T., Garcia D., Larrinaga P. Rehabilitation of masonry arches with compatible advanced composite material // Construction and Building Materials. 2011. Vol. 25. P. 4374–4385.
5. Ferit Cakir, Habib Uysal. Experimental modal analysis of brick masonry arches strengthened prepregcomposities // Journal of Cultural Heritage. 2015. Vol. 16. P. 284–292.
6. Francesca Giulia Carozzi, Gabriele Milani, Carlo Poggi. Mechanical properties and numerical modeling of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for strengthening of masonry structures // Composite structures. 2014. Vol. 107. P. 711–725.
7. Ilaria Cancelliere, Maura Imbimbo, Elio Sacco. Experimental tests and numerical modelling of reinforced masonry arches // Engineering Structures. 2010. Vol. 32. P. 776–792.
8. Sokolov B. S. Antakov A. B. Studies of compressed elements of stone and reinforced stone structures. M. : ASV, 2010. 104 p.
9. Gasiev A. A., Granovsky A. V. Dynamic tests of masonry samples reinforced with carbon fiber cloths // Seysmostoykoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy. 2015. № 2. P. 29–35.
10. Sokolov B. S., Pavlov V. V., Khorkov E. V. Design and technological features of the restoration of the serviceability of stone vaulted floors : dig. of art. of IV International (X All-Russian) conference NASKR -2018 / Chuvashsky universitet. Cheboksary, 2018. P. 323–329.
11. Laptev E. A. Assessment of the bearing capacity of ceilings on steel beams with a run-in in the form of vaults in the buildings of St. Petersburg. SPb. : SPPU, 2016. 55 p.
12. Bespalov V. V. Strength of damaged stone vaulted structures of historic buildings. SPb. : SPPU, 2018. 93 p.
13. Fabrichnaya K. A., Sharafutdinova K. I. To the study of the VAT of brick vaults (Monie type) during reconstruction : dig. of art. of IV International (X All-Russian) conference NASKR -2018 / Chuvashsky universitet. Cheboksary, 2018. P. 338–344.
14. Kashevarova G. G., Zobacheva A. Yu. Modeling the process of destruction Brickwork : dig. of art. « To the 50th anniversary of the Department of Building Structures of the Faculty of Civil Engineering of PSTU» / PGTU. Per'm, 2010. P. 106–113.
15. Bessonov G. B. Research of deformations, calculation of bearing capacity and constructive strengthening of ancient spacer systems. M. : Rosrestavratsiya. 1989. 164 p.
16. Isekeyev I. D., Trofimov A. V. Improving the methodology for calculating shallow reinforced concrete vaults based on metal beams // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2018. № 1 (66). P. 28–33.
17. Razzhivin A. V. Taking into account the bearing capacity of concrete arches during verification calculations of steel-concrete floors // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2013. № 3. P. 45–46.
18. Frolov A. V., Zimin S. S., Frolova E. V. The method of calculating the bearing capacity of beams taking into account the stiffness of the brick vaulted filling // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Sinergiya nauk». 2017. № 10. P. 593–619.
19. Bespalov V. V., Zimin S. S. The strength of masonry vaulted structures // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2016. № 11 (50). P. 37–51.

УДК 624.073-415/419
Хайруллин Ленар Равилевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: lenarhay@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Мингатин Адель Радикович
инженер
E-mail: mingatin93@mail.ru
ООО «СК АгроСтрой»
Адрес организации: 420054, Россия, г. Казань, ул. Поперечно-Авангардная, д. 25а

Причины возникновения дефектов в панелях типа сэндвич при их производстве на линиях с роликовым термопрессом

Аннотация

Постановка задачи. При изготовлении сэндвич-панелей с металлическими обшивками и средним слоем из отдельных листов заполнителя по поточной технологии, в готовых панелях возникает поперечный стык среднего слоя, расположенный произвольно по длине панели. Технология производства сэндвич-панелей на поточных линиях, имеющих термопресс, основанный на принципе прокатки заготовки сэндвича между верхними и нижними роликовыми установками, уже подразумевает наличие дефектов панелей в виде «непроклея» обшивки. Целью работы является выявление причин возникновения дефектов в сэндвич-панелях при их производстве на линиях с роликовым термопрессом.

Результаты. Основные результаты исследования заключаются в выявлении причин возникновения указанных дефектов, а именно наличия разности толщин заполнителя и появления дополнительной силы, действующей со стороны роликов на движущиеся обшивки в точках скачка толщин стыкуемых листов заполнителя, в результате изменения направления скорости движения роликов.

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для строительной отрасли состоит в том, что на основе понимания механики возникновения дефектов результаты исследования могут быть использованы для усовершенствования оборудования для производства сэндвич-панелей и, в целом, для повышения качества производства ограждающих конструкций.

Ключевые слова: трехслойная панель, сэндвич-панель, стык заполнителя, технология производства панелей, роликовая установка, «непроклей».

Введение

Сэндвич-панели все чаще используются в качестве ограждающих конструкций зданий, таких как производственные здания, склады, холодильные камеры и торговые центры. Это связано с тем, что они легкие, теплоэффективные, эстетически привлекательные, и их легко транспортировать и устанавливать.

В зависимости от выбора технологии и оборудования, производство панелей с плитным утеплителем может выполняться в автоматическом или полуавтоматическом режиме. При этом состав технологических операций будет идентичный, но на номенклатуру и последовательность работ будет влиять вид теплоизолирующего слоя. Поскольку механические характеристики пенополистирола одинаковы по всем направлениям, то он укладывается плитами по всей ширине панели. По длине листы пенополистирольного заполнителя не могут превышать длину заготовки и зачастую она меньше, чем длина сэндвич-панели. Технология производства сэндвич-панелей из минеральной ваты предполагает устройство среднего слоя из отдельных ламелей, нарезанных из плит утеплителя, ограниченной ширины. Ориентация волокон в ламелях идет перпендикулярно плоскости панели, что повышает механическую прочность конструкции. У изготовленных автоматическим методом сэндвич-панелей себестоимость значительно ниже, а качество выше за счет отсутствия человеческого фактора.

Теоретические исследования причин возникновения дефектов сэндвич-панелей

При производстве трехслойных панелей с металлическими обшивками на непрерывных линиях, средний слой из пенополистирола изготавливают способом резки раскаленными нихромовыми или вольфрамовыми нитями на отдельные плиты. При нагреве проволока вытягивается, и на поверхности плит заполнителя получается начальная неровность, близкая к синусоиде, по длине плит заполнителя (рис. 1).

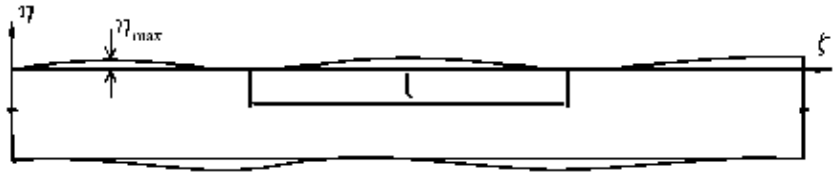


Рис. 1. Реальный профиль листа пенопласта (иллюстрация авторов)

Аналогичная картина может наблюдаться и при резке минераловатных плит на отдельные ламели, проводимой с помощью механической ленточной или дисковой пилы. Пильный диск или ленточная пила изнашиваются неравномерно, поэтому толщина ламелей может различаться в пределах нескольких миллиметров. При этом, согласно ГОСТ 32603-2012 «Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты. Технические условия», разность толщин ламелей минеральной ваты может достигать величины до 4 мм, а их неровность – 1 мм.

Таким образом, поверхность уже готовых плит заполнителя будет иметь неправильность, близкую к волне синусоиды, а уравнение продольного профиля листа заполнителя, соответственно, будет иметь следующий вид:

$$\eta = \eta_{\max} \cdot \sin^2 \frac{\pi\varsigma}{l}, \qquad (1)$$

где l – длина волны.

На большинстве технологических линий изготовление сэндвич-панелей с металлическими обшивками на непрерывных линиях происходит по следующей схеме (рис. 2):

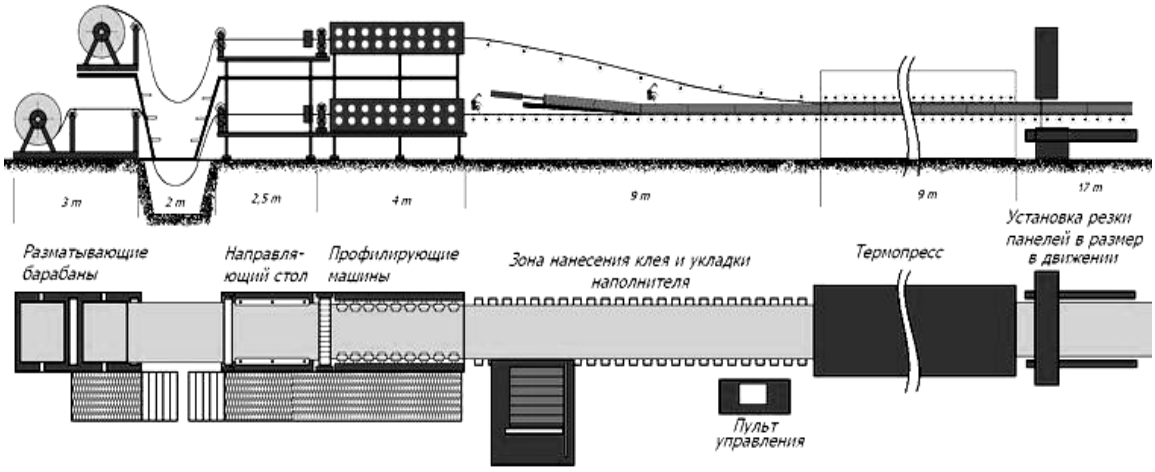


Рис. 2. Схема автоматической линии производства сэндвич-панелей
(источник: http://www.budimpex.ru/avtomaticheskaya-liniya-sendvich-paneli.html)

Для получения качественных панелей большое значение имеет способ склейки листов обшивки со средним слоем панели. При поточном методе производства панелей, есть два способа склейки:

- посредством гусеничного термопресса, перемещающегося вместе с панелью до полимеризации клея;

- при помощи термопресса, основанного на принципе прокатки заготовки сэндвича между верхними и нижними роликовыми установками. Основная функция роликового пресса – склеивание элементов панели без остановки движения на время, необходимое для склеивания элементов сэндвича (рис. 3). Скорость пресса синхронизирована со скоростью всей линии.

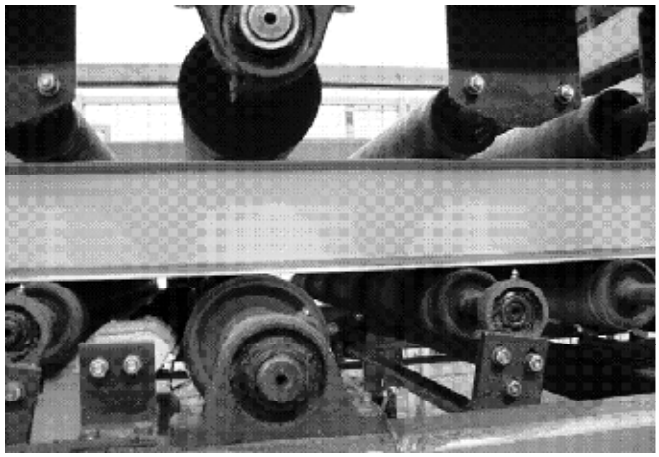


Рис. 3. Склеивание обшивок сэндвич-панелей при помощи роликового термопресса (источник: http://www.know-house.ru/avtor/metallprofil_05062012.html)

Под давлением пресса наружная часть сэндвич-панели и средний слой должны надежно склеиваться при температуре от +20 до +70. Однако стоит помнить, что склеиваемая конструкция должна находиться под прессом до того момента, пока цикл жизни клея не закончится. После нанесения клея склеивание должно произойти достаточно быстро. В зависимости от его модификации клеящие свойства сохраняются в промежутке от 3 до 180 минут. После склеивания панель выходит из-под пресса и охлаждается. Обычно конструкция набирает технологическую прочность от 10 минут до 16 часов.

Рассмотрим движение обшивки сэндвич панели через роликовую установку термопресса. В процессе изготовления панели, за счет неровности среднего слоя со стороны роликов на обшивку будет действовать не только сжимающие усилия P, но и переменные силы P'' (рис. 4):

$$P'' = -m\,\frac{2\pi^2 v^2 \eta_{\max}}{l^2}\cos\frac{2\pi v t}{l}, \qquad (2)$$

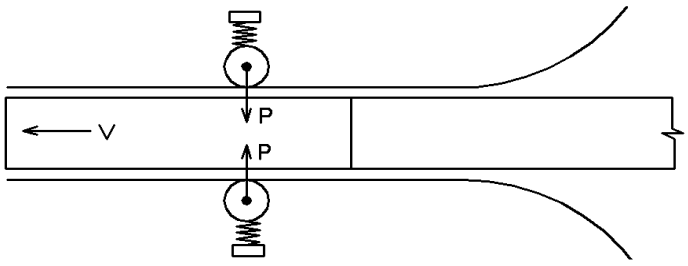


Рис. 4. Процесс движения панели через роликовую установку (иллюстрация авторов)

Так как скорость движения заготовки сэндвича v небольшая, то монотонно меняющаяся сила P'' значительного влияния на качество изготовления панелей не окажет, но уже изначально появляется начальная неровность. При этом начальные неровности могут быть синфазные, антифазные и смешанные.

Испытания сэндвич-панелей на поперечный изгиб показывают, что разрушение панелей, как правило, происходит за счет потери устойчивости сжатой обшивки [1, 7, 9]. Иногда это происходит при действии на панель нагрузок меньших, чем критические [2, 4]. Объяснение можно искать, по-видимому, в том, что, как было показано выше,

реальная поверхность панели имеет отклонения от плоскости, вследствие этого, при нагружении панели в обшивке, возникают напряжения, вызывающие потерю устойчивости сжатой обшивки из-за появления в обшивке эксцентриситета.

Итак, технологический процесс уже допускает неровности при изготовлении сэндвич-панелей. Кроме сказанного, необходимо учесть, что заполнитель поступает непрерывно, но отдельными листами. За счет неровности заполнителя в точке стыка предыдущего и последующего листов, периодически появляются скачки толщины заполнителя (рис. 5), что приводит к появлению дополнительной поперечной силы, которая в дальнейшем может вызвать появление «непроклея» обшивки. И все это обусловлено самой технологией склейки с помощью роликового пресса, когда участок панели выходит из-под очередного прижимного ролика, и, за счет сил упругости, зазор между листом и утеплителем увеличивается на некоторую величину, как бы разрывая клеевой слой. В результате череды таких сжатий-отслоений еще не застывший жидкий клей вспенивается, в итоге не обеспечивая хорошее проникновение клея в толщу утеплителя и его надежную адгезию с обшивкой. На некоторых производственных линиях плиты утеплителя из пенополистирола внутри панелей соединяются не плоской поверхностью предыдущего и последующего торцов плит, а места соединения утеплителя – торцы пенополистирола – фрезеруются с образованием пазогребневого стыка. Таким образом, стык утеплителя внутри панели представляет собой конструктивный узел, воспринимающий сдвиговое усилие и обеспечивающий более надежное механическое соединение [9]. Однако наличие дополнительных операций по фрезерованию и стыковке плит заполнителя, еще больше увеличивает вероятность возникновения неровности в месте стыковки плит заполнителя. Попытаемся объяснить природу появления дополнительной силы в точках стыка листов заполнителя.

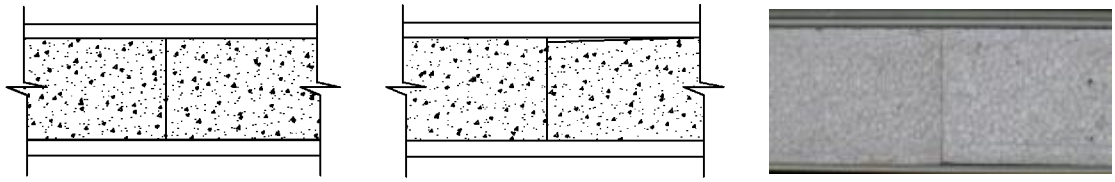


Рис. 5. Идеальный стык и реальные стыки листов заполнителя (иллюстрация авторов)

На рис. 5 показан реальный случай, когда толщины стыкуемых торцов не совпадают. В результате при прохождении через эти точки векторы скоростей осей роликов меняют свои направления.

Наличие так называемого «излома» приводит к появлению дополнительной силы Q, которая будет действовать со стороны роликов на движущиеся обшивки в точках скачка толщин стыкуемых листов заполнителя. Приближенно вычислим элементарный импульс этой силы, действующей со стороны обшивки на этом элементарном участке (рис. 6). По теореме об изменении количества движения имеем следующее.

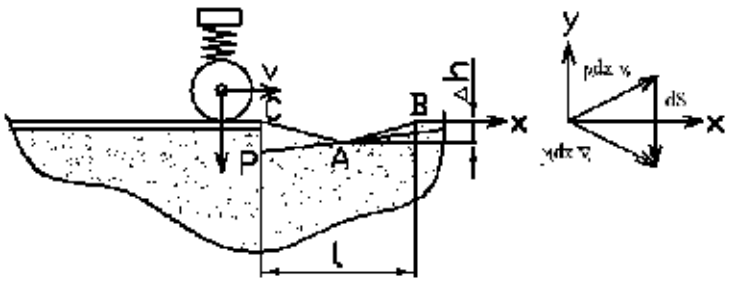


Рис. 6. Схема прохождения сил в месте стыка листов пенополистирола:
l – длина вмятины; Δh – максимальная амплитуда вмятины (иллюстрация авторов)

$$\mu dx\,\overline{v}_2 - \mu dx\,\overline{v}_1 = d\overline{S}, \qquad (3)$$

где μ – «погонная» масса роликовой установки;

v_1, v_2 – векторы скоростей и центра масс элементарного участка роликов до и после прохождения стыка листов заполнителя, причем $v_2=v_1=v$ – скорость движения;

dS – элементарный импульс силы Q;

dx – длина элементарного участка роликовой установки;

μdx – масса элементарного участка роликовой установки.

Время прохождения стыка заполнителя будем считать пренебрежительно малым. Так как $v_2=v_1=v$, и $\angle ACB=\angle ABC$, то вектор dS в треугольнике импульсов, построенном по теореме об изменении количества движения, оказывается вертикальным.

При этом $dS=-2\mu\, dxv\, sin\ \alpha$.

Разделив обе части полученного равенства на dt и учитывая условия, что:

$$\frac{dS_y}{dt} = Q \text{ , а } \frac{dx}{dt} = v \text{ ,}$$

будем иметь:

$$Q=-2\mu\, v2\, sin\ \alpha. \tag{4}$$

Эта сила возникает в результате изменения направления скорости движения роликов в точках стыка заполнителя и является родственной центробежной силе инерции.

Если учесть, что:

$$\sin\alpha = \frac{\Delta h}{\sqrt{\Delta h^2 + \frac{l^2}{4}}} = \frac{2\Delta h}{\sqrt{4\Delta h^2 + l_1^2}}, \tag{5}$$

то дополнительную силу, действующую на обшивку при стыке заполнителя, приблизительно можно определить по формуле:

$$Q' = \frac{4\Delta h \mu v^2}{\sqrt{4\Delta h^2 + l_1^2}} \cdot \tag{6}$$

Таким образом, при изготовлении панелей, со стороны роликов на панель будут действовать силы:

$$P = P_1 - \frac{2\pi^2 v^2 m \eta_{\max}}{l^2} \cos\frac{2\pi v t}{l} + \delta\left(t - \frac{L}{v}\right)\frac{4\Delta h \mu v^2}{\sqrt{4\Delta h^2 + l_1^2}}, \tag{7}$$

где P_1 – сжимающая сила.

На рис. 7 показан график изменения силы P.

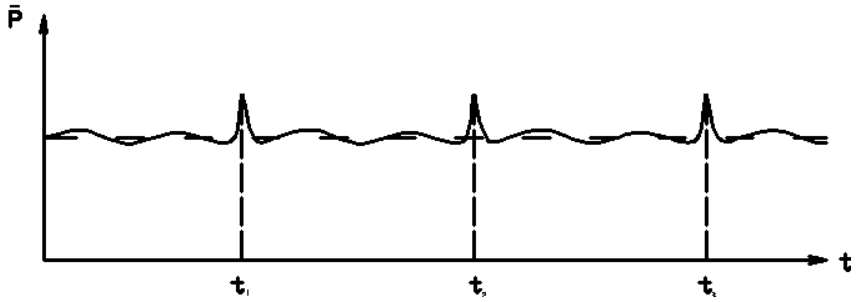


Рис. 7. График изменения P (иллюстрация авторов)

Таким образом, появление дополнительных сил, при $t_1=L/v$, и является причиной появления неровностей, где L – длина листа или ламели заполнителя.

Данные силы, вызывающие наличие упругого отпора, вызывают появление так называемого «непроклея» обшивки в месте стыка листов заполнителя, то есть появление участков обшивки, неподкрепленной упругим основанием. В результате возникновения такого дефекта критическая сила местной потери устойчивости сжатой обшивки уменьшается [10], что приводит к ее выпучиванию и к дальнейшему отрыву обшивки в процессе эксплуатации.

Сопряжение обшивки и заполнителя обоснованно считается слабым звеном при работе многослойных конструкций [11]. Это связано с тем, что такие отслоения имеют тенденцию расти и, в конечном итоге, обшивка полностью отслаивается. Наиболее

распространенной причиной этих дефектов является плохое или отсутствующее соединение из-за несовершенства технологии изготовления или несоответствия геометрии. Подобные дефекты могут также возникать во время эксплуатации из-за температурных напряжений, ударов или усталости конструкции. [9].

Для того чтобы структура сэндвич-панели смогла работать технически правильно механические свойства обшивок и среднего слоя должны соответствовать действующим в них усилиям. Изгибающие нагрузки вызывают деформацию всей панели. Обшивка, находящаяся со стороны нагрузки, действующей на панель, находится под действием сжимающих напряжений, а другая обшивка – растягивающих. Средний слой также оказывается нагружен. При этом напряжением, воспринимаемым заполнителем, является сдвиговое напряжение [3]. Таким образом, заполнитель должен хорошо работать на сдвиг. Однако наличие стыков плит заполнителя и соответственно скачков толщины заполнителя и вызываемого ими «непроклея», не позволяет в полной мере использовать свойства цельной плиты заполнителя для восприятия сдвигающих усилий в месте стыка. Чтобы получить полную выгоду от использования сэндвич-структуры и избежать указанных дефектов, можно использовать заполнитель без стыков [5] или компенсировать это повышенным расходом клея, в том числе для склеивания стыка [6, 8], но это существенно удорожает стоимость готового изделия.

Заключение

Технология производства сэндвич-панелей на поточных линиях, имеющих термопресс, основанный на принципе прокатки заготовки сэндвича между верхними и нижними роликовыми установками, уже подразумевает наличие дефектов панелей в виде «непроклея» обшивки. Данный дефект возникает из-за наличия разности толщин заполнителя и появления дополнительной силы, действующей со стороны роликов на движущиеся обшивки в точках скачка толщин стыкуемых листов заполнителя, в результате изменения направления скорости движения роликов в роликовой установке термопресса.

Список библиографических ссылок

1. Хайруллин Л. Р. Результаты исследования действительной работы трехслойных панелей : Материалы 53 республиканской научной конференции : сб. научных трудов аспирантов / КГАСА. Казань, 2001. С. 60–63.
2. Ильдияров Е. В., Холопов И. С. Экспериментально-теоретическое исследование долговечности трехслойных панелей со средним слоем из базальтовой ваты // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 9. С. 31–36.
3. Холопов И. С., Петров С. М. Оптимальное проектирование трехслойных панелей с учетом сдвиговых деформаций среднего слоя // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 36–40.
4. Петров С. М. Несущая способность и деформативность трехслойных панелй с обшивками из металлических и композиционных материалов и легкими заполнителями. Самара, 2013.
5. Солдатов А. А., Бедник В. С., Акобян Г. В., Текеев И. Х. Ограждающие конструкции – сэндвич панели // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 1. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/01/62284 (дата обращения: 12.10.2019).
6. Долженко В. Е. Влияние увеличенного расхода клея на несущую способность сэндвич-панелей // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 12. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/12/75439 (дата обращения: 12.10.2019).
7. Studzinski R., Pozorski Z., Garstecki A. Failure maps of sandwich panels with soft core : 10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques / VGTU. Vilnius, 2010. P. 1060–1064.
8. Saarinen A. Shear strength examination of the mineral wool lamella cored sandwich panels and the comparison of their different end connections. Master of Science thesis. Tampere University of technology. 2015. 68 p.

9. Carlsson L. A., Kardomateas G. A. Structural and Failure Mechanics of Sandwich Composites. Amsterdam : Springer Netherlands, 2011. 386 p.
10. Каюмов Р. А., Мухамедова И. З., Хамматова В. В. Методика определения коэффициента постели в задаче потери устойчивости среднего слоя трехслойного стержня при растяжении // Вестник технологического университета. 2016. № 23. С. 118–120.
11. Каюмов Р. А., Шакирзянов Р. А., Шакирзянов Ф. Р., Каримова Г. Г. Расчет трехслойной панели со складчатым заполнителем. Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : мат. XXIV международного симпозиума имени А. Г. Горшкова / ООО «ТРП». М., 2018. С. 124–126.

Khayrullin Lenar Ravilevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: lenarhay@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Mingatin Adel Radikovich
engineer
E-mail: mingatin93@mail.ru
LLC «SK AgroStroy»
The organization address: 420054, Russia, Kazan, Poperechno-Avangardnaya st., 25a

Causes of defects in sandwich-type panels during their production on lines with roller thermal press

Abstract

Problem statement. In the manufacture of sandwich panels with metal cladding and a middle layer of individual filler sheets using in-line technology, a transverse joint of the middle layer occurs arbitrarily in the finished panels, located arbitrarily along the length of the panel. The technology for the production of sandwich panels on production lines with a thermal press, based on the principle of rolling a sandwich billet between the upper and lower roller installations, already implies the presence of panel defects in the form of «non-adhesive» cladding. The aim of the work is to identify the causes of defects in the sandwich panels during their production on the lines with roller thermal press.

Results. The main results of the study are to identify the causes of the indicated defects, namely the presence of a difference in the thickness of the filler and the appearance of additional force acting on the side of the rollers on the moving skin at the jump points of the thicknesses of the joined sheets of the filler, as a result of a change in the direction of speed of the rollers.

Conclusions. The significance of the research results for the construction industry lies in the fact that, based on an understanding of the mechanics of the occurrence of defects, the research results can be used to improve the equipment for the production of sandwich panels and, in general, to improve the quality of production of building envelopes.

Keywords: three-layer panel, sandwich panel, filler joint, panel production technology, roller installation, «non-adhesive».

References

1. Khayrullin L. R. Results of the study of the actual operation of three-layer panels : mat. of the 53rd republican scientific conference : dig. of art. of post graduate students / KGASA. Kazan, 2001. P. 60–63.

2. Ildiyarov E.V., Kholopov I.S. Experimental and theoretical study of the durability of three-layer panels with a middle layer of basalt wool // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2015. № 9. P. 31–36.
3. Kholopov I. S., Petrov S. M. Optimal design of three-layer panels taking into account shear deformations of the middle layer. Industrial and civil engineering. 2013. № 2. P. 36–40.
4. Petrov S. M. Bearing capacity and deformability of three-layer panels with sheathing of metal and composite materials and lightweight aggregates. Samara, 2013.
5. Soldatov A. A., Bednik V. S., Hakobyan G. V., Tekeev I. Kh. Enclosing structures – sandwich panels // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2016. № 1. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/01/62284 (reference date: 12.10.2019).
6. Dolzhenko V. E. The effect of increased glue consumption on the carrying capacity of sandwich panels // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2016. № 12. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/12/75439 (reference date: 12.10.2019).
7. Studzinski R., Pozorski Z., Garstecki A. Failure maps of sandwich panels with soft core: 10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques / VGTU. Vilnius, 2010. P. 1060–1064.
8. Saarinen A. Shear strength examination of the mineral wool lamella cored sandwich panels and the comparison of their different end connections. Master of Science thesis. Tampere University of technology. 2015. 68 p.
9. Carlsson L. A., Kardomateas G. A. Structural and Failure Mechanics of Sandwich Composites. Amsterdam: Springer Netherlands, 2011. 386 p.
10. Kayumov R. A., Mukhamedova I. Z., Khammatova V. V. Method for determining the coefficient of bed in the problem of loss of stability of the middle layer of a three-layer rod under tension // Vestnik tehnologicheskogo universiteta. 2016. № 23. P. 118–120.
11. Kayumov R. A., Shakirzyanov R. A., Shakirzyanov F. R., Karimova G. G. Calculation of a three-layer panel with folded filler. Dynamic and technological problems of structural mechanics and continuous environment : mat. of the XXIV International Symposium named after A.G. Gorshkov / LLC TRP. M., 2018. P. 124–126.

УДК 624.153.6
Королева Ирина Владимировна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: 79178711218@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Сагдатова Миляуша Ренатовна
инженер
E-mail: misha.sag776@yandex.ru
ООО «АртэксСтройПроект»
Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Лейтенанта Шмидта, д. 35а, оф. 312-313

Экспериментальные исследования поведения серых глин в условиях трехосного сжатия при разной влажности

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования глинистого грунта нарушенной структуры в приборе трехосного сжатия цилиндрической формы с размерами 38×76 мм – изучение особенностей поведения образцов с различной влажностью при статическом нагружении. Существующие данные об экспериментальных исследованиях в данном направлении носят разрозненный характер.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в получении данных о прочностных и деформационных изменениях серой глины в условиях трехосного сжатия в зависимости от влажности образцов. Выполнен анализ результатов исследования и установлены некоторые закономерности поведения серых глин в условиях статического нагружения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в повышении достоверности оценки несущей способности и осадок вследствие установления влияния влажности на изменение прочностных и деформационных параметров образца глинистого грунта в условиях трехосного сжатия.

Ключевые слова: серая глина, статическое нагружение, трехосное сжатие, влажность грунта, прочностные и деформационные характеристики.

Введение

На сегодняшний день, при оценке физико-механических свойств грунта, рассматривают грунты природной влажности [1-9]. При этом очень часто в процессе строительства грунты, являющиеся несущим слоем и непосредственно контактирующие с подошвой фундамента, изменяют свою влажность, так как может происходить замачивание грунтов поверхностными (атмосферными) и грунтовыми водами [1-3]. Следует отметить, что в связи с устройством глубоких фундаментов в качестве оснований, все чаще выступают серые или «голубые» глины, характеризующиеся высоким содержанием глинистых частиц и, как следствие, большим числом пластичности I_P. Однако в существующей литературе вопрос изменения прочностных и деформационных характеристик серых глин при изменении их влажности практически не освещается.

В связи с вышеизложенным, в лаборатории «Механики грунтов» кафедры ОФДСиИГ были проведены экспериментальные исследования серых глин в условиях статического трехосного нагружения.

Программа испытаний образцов серой глины

Основная особенность пылевато-глинистых грунтов природного сложения – значительная неоднородность вследствие хаотично расположенных пустот, включений и пор. С целью уменьшения влияния данного фактора образцы для испытаний приготавливались согласно методике, разработанной на кафедре [10], из серых глин нарушенной структуры. Для исследования эффекта влияния влажности в программу испытаний были включены образцы грунта с различным показателем текучести I_L (табл. 1), при этом все приготовленные грунты были классифицированы как «твердые» ($I_L < 0$).

Таблица 1

Заданная влажность W, %	Влажность на границе текучести W_L, %	Влажность на границе раскатывания W_P, %	Число пластичности I_P, %	Показатель текучести I_L
31 %	78,3	44	34,3	- 0,38
35 %				- 0,26
37 %				- 0,20

С целью создания идентичных образцов в каждой их трех серий испытаний грунты нарушенной структуры готовились в кубической форме, а затем, согласно схеме, указанной на рис. 1, образцы вырезались с помощью гильз.

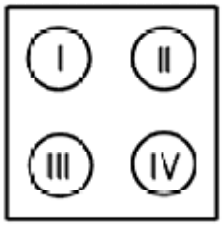


Рис. 1. Расположение гильз при вырезании из куба (иллюстрация авторов)

Определение предельного (разрушающего) значения вертикальной нагрузки и деформационных характеристик грунта проводилось в автоматизированной системе АСИС на приборе трехосного сжатия стабилометрического типа согласно заданной программе испытаний (табл. 2).

Таблица 2

№ серии	№ образца	W, %	$t_{выдерж}$, дни	Боковая нагрузка, σ_2, кПа
1	I	34	0	100
	II		0	300
	III		2	100
	IV		2	300
2	I	35	0	100
	II		0	300
	III		2	100
	IV		2	300
3	I	37	0	100
	II		0	300
	III		2	100
	IV		2	300

Все испытания были выполнены до достижения образцом предельных деформаций. Из табл. 2 видно, что в каждой серии экспериментов образцы были испытаны при разной влажности по схеме «раздавливание»:

Гильза I испытывается в первый день при всестороннем обжатии 100 кПа, затем разрушается девиаторной нагрузкой.

Гильза II – величина боковой нагрузки при всестороннем обжатии 300 кПа с последующим увеличением девиатора до разрушения.

Гильзы I-II испытываются сразу же после вырезания из куба, т.е. в «нулевой» день, а гильзы III-IV – через 2 дня по аналогичной программе.

Разработанная программа испытаний позволяет оценить влияние влажности серой глины на прочность и деформации образца в условиях трехосного сжатия с учетом величины всестороннего обжатия и времени выдержки до начала испытания.

Результаты экспериментальных исследований

Проведенные стабилометрические испытания позволили оценить характер деформирования образцов серых глин нарушенной структуры. По результатам экспериментальных исследований были построены графики изменения деформаций в процессе загружения образца для каждой серии испытаний, а также графики изменения прочности серых глин во времени при боковой нагрузке 100 кПа и 300 кПа.

Развитие деформаций образцов серой глины

График изменения линейных деформаций гильзы I (рис. 2) показывает, что в каждой серии испытаний до $\sigma_1 = 200$ кПа образец уплотняется, затем происходит прирост деформации до предельного значения вертикальных деформаций, принимаемых за разрушение образца. При этом деформации растут с разной скоростью в зависимости от влажности:

- при влажности 31 % образец является «хрупким», так как разрушается довольно быстро после этапа уплотнения, предельное значение вертикальных напряжений 270 кПа;
- при влажности 35 % образец показывает довольно большое значение прочности в 350 кПа;
- при влажности 37 % образец имеет меньшую прочность по сравнению с образцом при влажности 35 %, всего 320 кПа, так как скорость деформирования у него значительно больше, чем у образца второй серии.

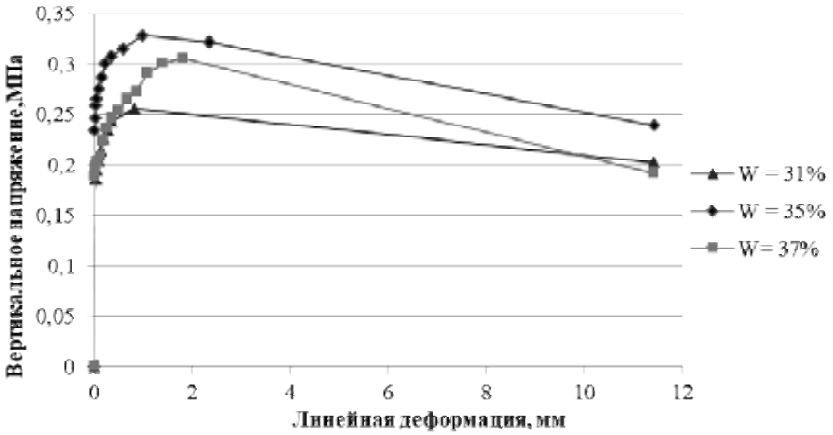


Рис. 2. График изменения деформаций в процессе загружения гильзы I (иллюстрация авторов)

Через два дня выдержки после изготовления образца до начала нагружения (рис. 3), образцы имеют аналогичный характер деформирования, при этом грунт в каждой серии уплотняется без характерного роста деформации до $\sigma_1 = 250$ кПа, а предельные значения вертикальных напряжений образцов составляют 290 кПа при влажности 31 %, 370 кПа – при влажности 35 % и 350 кПа – при влажности 37 %. Установлено, что при влажности 37 % образец так же имеет более низкую прочность, чем при влажности в 35 % (снижение прочности составило около 10 %), и более высокую деформируемость.

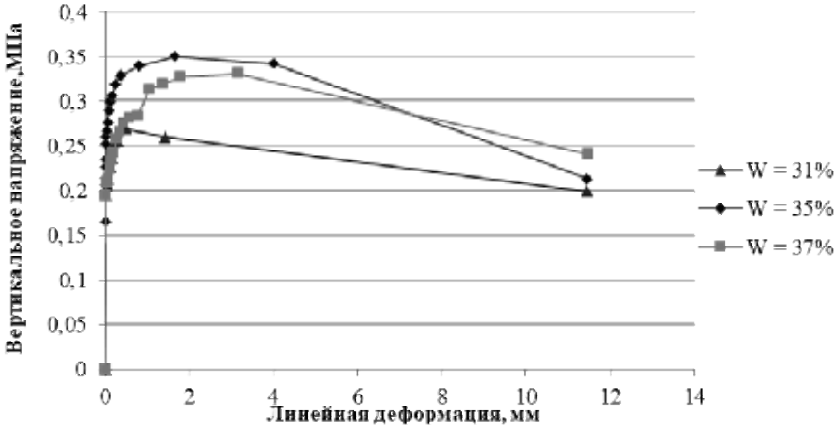


Рис. 3. График изменения деформаций в процессе загружения гильзы III (иллюстрация авторов)

Таким образом, для стандартного испытания с величиной боковой нагрузки 100 кПа оптимальной влажностью серой глины можно считать влажность W = 35 %, при которой образец показал наибольшее значение прочности в 350 кПа при «нулевом» дне и 370 кПа после выдержки в 2 дня.

По графику изменения линейных деформаций гильзы II (рис. 4) также можно проследить, что в каждой серии испытаний образец уплотняется до $\sigma_1 = 420$ кПа, затем происходит прирост деформации до разрушения образца. При этом деформации растут с разной скоростью в зависимости от влажности:

- при влажности 31 % образец, как и в случае с боковой нагрузкой $\sigma_2 = 100$ кПа, разрушается довольно быстро после уплотнения и имеет предельное значение прочности 510 кПа;
- при влажности 35 % образец показывает значение вертикальных напряжений в 540 кПа;
- при влажности 37 % образец уже выдерживает $\sigma_1 = 600$ кПа, что значительно больше по сравнению с образцом, имеющим влажность W = 35 %, хотя скорость прироста деформаций у него остается значительной.

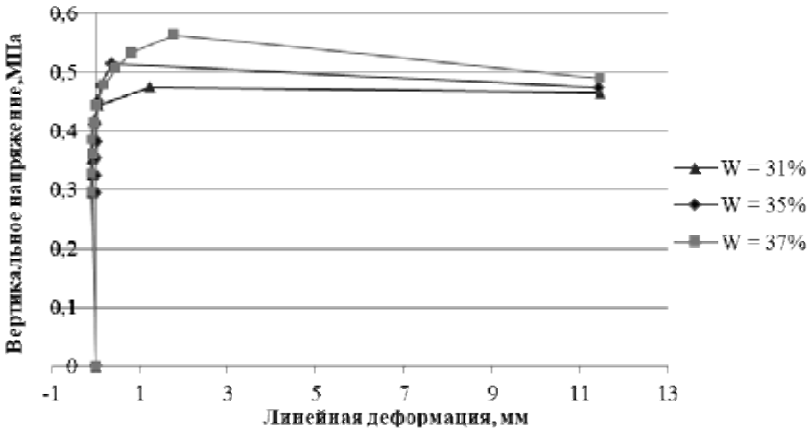


Рис. 4. График изменения деформаций в процессе загружения гильзы II (иллюстрация авторов)

После двух дней выдержки (рис. 5) показатели стали больше так же, как и при боковой нагрузке в 100 кПа: образец каждой серии уплотняется уже до $\sigma_1 = 450$ кПа, а предельные значения вертикальных напряжений, прикладываемых к образцу, составляют $\sigma_1 = 510$ кПа при влажности 31 %, $\sigma_1 = 600$ кПа – при влажности 35 % и $\sigma_1 = 630$ кПа – при влажности 37 %. Как видно из графиков (рис. 5), при влажности 31 % образец не меняет свою прочность, а при влажности 37 % образец на момент разрушения выдерживает большее значение σ_1, чем образец второй серии.

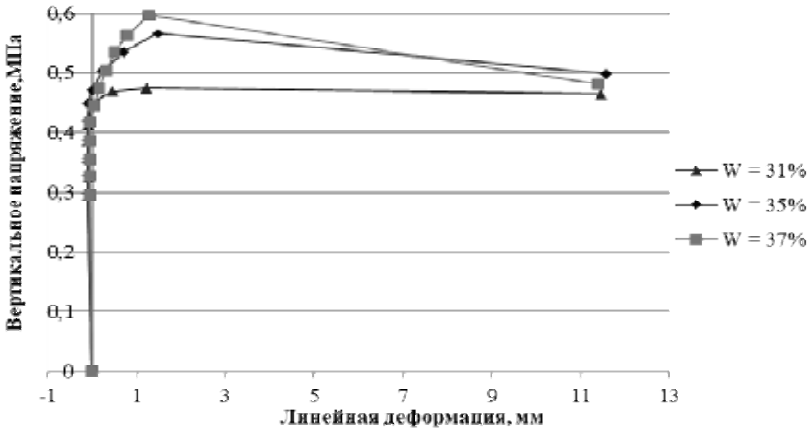


Рис. 5. График изменения деформаций в процессе загружения гильзы IV (иллюстрация авторов)

Таким образом, для испытания с величиной боковой нагрузки 300 кПа оптимальной влажностью серой глины можно считать влажность W = 0,37, при которой образец показал наибольшее значение прочности 600 кПа при «нулевом» дне и 630 кПа после выдержки в 2 дня.

Изменение прочности образцов серой глины

После сопоставления данных, полученных по результатам испытаний, проведенных сразу же после вырезания гильз («нулевой» день) и проведенных через два дня после изготовления образцов (рис. 6-7), установлено, что:

- при боковой нагрузке 100 кПа и изменении влажности от 31 % до 35 %, затем до 37 % (увеличение на 4 % и на 2 %, соответственно), прочность в «нулевой» день меняется от 270 кПа до 350 кПа, т.е. увеличивается примерно в 1,3 раза, а через два дня выдержки прочность меняет свою величину с 290 кПа до 370 кПа, т.е. также увеличивается, но уже в 1,28 раза;
- при боковой нагрузке 100 кПа и времени выдержки 2 дня прочность меняется с 270 кПа до 290 кПа (в 1,07 раза) при влажности 31 %, с 320 кПа до 350 кПа (в 1,09 раза) – при влажности 37 %, с 350 кПа до 370 кПа (в 1,06 раза) – при влажности 35 %;
- при боковой нагрузке 300 кПа и изменении влажности от 31 % до 35 %, затем до 37 % (увеличение на 4 % и на 2 %, соответственно), прочность в «нулевой» день меняется от 510 кПа до 600 кПа, т.е. увеличивается примерно в 1,2 раза, а через два дня выдержки прочность меняет свою величину с 510 кПа до 630 кПа, т.е. также увеличивается, но уже в 1,24 раза;
- при боковой нагрузке 300 кПа и времени выдержки 2 дня прочность меняется с 540 кПа до 600 кПа (в 1,11 раз) при влажности 35 %, с 600 кПа до 630 кПа (в 1,05 раза) – при влажности 37 %, и не меняется при влажности 35 %.

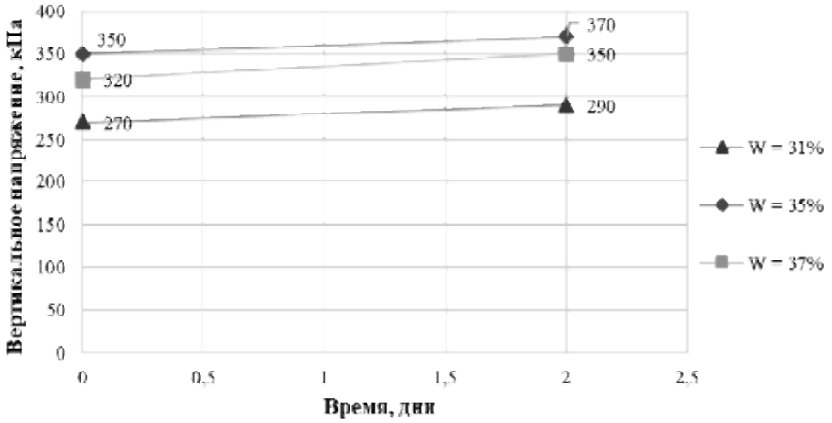


Рис. 6. График изменения прочности серых глин во времени при боковой нагрузке 100 кПа (иллюстрация авторов)

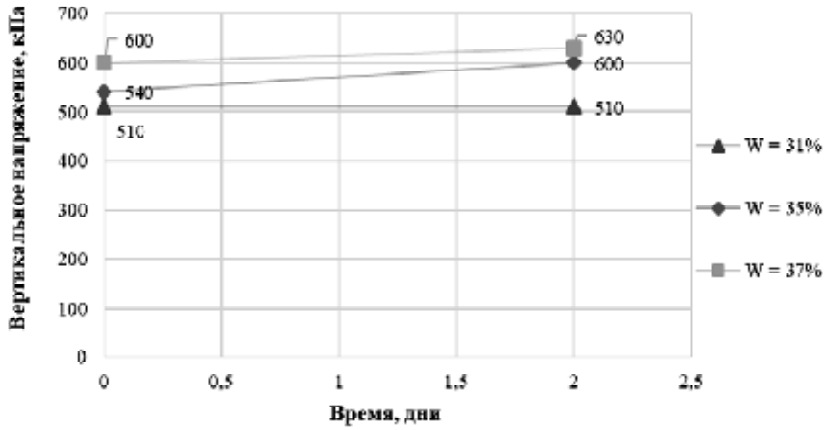


Рис. 7. График изменения прочности серых глин во времени при боковой нагрузке 300 кПа (иллюстрация авторов)

Таким образом, полученные графические зависимости показывают, что прочность образца изменяется не только при изменении его влажности, но и в зависимости от величины боковой нагрузки и времени выдержки с момента изготовления до начала загружения.

Заключение

В результате экспериментальных исследований установлено:

1. Развитие деформаций образца серой глины нарушенной структуры в условиях трехосного сжатия зависит от влажности грунта: при этом грунты с меньшой влажностью показывают хрупкий характер деформирования, который имеет лавинообразное развитие, а грунты с большей влажностью деформируются пластично.

2. Линейные деформации развиваются на протяжении всего испытания с различной интенсивностью. Скорость деформирования зависит от величины боковых нагрузок (100 кПа и 300 кПа) при испытании образца и времени выдержки перед экспериментом.

3. По результатам испытания серых глин нарушенной структуры установлено, что наиболее оптимальной влажностью для стандартного испытания (боковая нагрузка 100 кПа) является 35 % влажность, так как увеличение прочности образца происходит в целом до 30 % в «нулевой» день испытаний и до 28 % после двух дней выдержки после изготовления образца до начала нагружения; а для испытания с боковой нагрузкой в 300 кПа оптимальной влажностью является 37 % влажность, происходит увеличение прочности до 18 % в «нулевой» день испытаний и до 24 % после двух дней выдержки.

Список библиографических ссылок

1. Ильичев В. А., Мангушев Р. А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : АСВ, 2014. 728 с.
2. Петрухин В. П. Геотехнические проблемы строительства в Москве – крупнейшем мегаполисе России : сб. тр. международной конференции – Геотехнические проблемы мегаполисов / ГК «Георекнструкция». Москва, 2010. Том 1. С. 259–320.
3. Katzenbach R. Soil-structure-interaction of Tunnels and Superstructures During Construction and Service Time // Procedia Engineering. 2013. Vol. 57. P. 35–44.
4. Тер-Мартиросян З. Г., Тер-Мартиросян А. З., Соболев Е. С. Ползучесть и виброползучесть грунтов : сб. тр. XIV международного симпозиума по реологии грунтов – Перспективные направления развития теории и практики в реологии и механике грунтов / КГАСУ. Казань, 2014. С. 8–23.
5. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading : Proc. intern. symp., Kyoto, Japan – Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics / Balkema. Lieden, 2014. P. 742–747.
6. Tanaka T., Yoshiyuki Mohri, Zhussupbekov A. Zh. Elasto-plastic and Viscoplastic Finite Element Analysis – Direct Shear Box Test and Dynamic Deformation of Reinforced Embankment Dam : сб. тр. XIII международного симпозиума по реологии грунтов – Достижения, проблемы и перспективные направления развития для теории и практики механики грунтов и фундаментостроения / КГАСУ. Казань, 2012. С. 18–26.
7. Сиразиев Л. Ф. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния слоистых грунтовых оснований под центром штампа при кратковременных испытаниях // Инновации и инвестиции. 2018. № 11. С. 225–228.
8. Тер-Мартиросян А. З., Мирный А. Ю., Соболев Е. С. Особенности определения параметров современных моделей грунта в ходе лабораторных испытаний // Геотехника. 2016. № 1. С. 66–72.
9. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground / Balkema. Lieden, 2014. P. 401–404.
10. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Strength and deformability of clay soil under different triaxial load regimes that consider crack formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Vol. 53. Iss. 1. P. 5–11.

Koroleva Irina Vladimirovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: 79178711218@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st.,1
Sagdatova Miliausha Renatovna
engineer
E-mail: misha.sag776@yandex.ru
LLC «ArteksStroyProekt»
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Lieutenant Schmidt st., 35a, of. 312-313

Experimental studies of gray clay behavior under conditions of triaxial compression at different moisture

Abstract

Problem statement. The purpose of studying of clay soil of a disturbed structure in a triaxial compression device of a cylindrical shape with dimensions 38×76 mm, to study the behavior of samples with different moisture under static loading. Existing data on experimental research in this direction are of a disparate nature.

Results. The main results of the study consist in obtaining data on the strength and deformation changes of gray clay under triaxial compression, depending on the moisture content of the samples. The analysis of the results of the investigations is carried out and certain regularities in the behavior of gray clays under static loading are established.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to increase the reliability of the assessment of bearing capacity and sediment due to the establishment of the influence of humidity on the change in the strength and deformation parameters of a clay soil sample under conditions of triaxial compression.

Keywords: gray clay, static loading, triaxial compression, soil moisture, strength and deformation characteristics.

References

1. Ilyichev V. A., Mangushev R. A. Geotechnical Reference. Bases, foundations and underground structures. M. : ASV, 2014. 728 p.
2. Petrukhin V. P. Geotechnical problems of construction in Moscow – the largest metropolis of Russia : proceedings of the International Conference – Geotechnical problems of megacities / GC «Georeconstruction». M., 2010. Vol. 1. P. 259–320.
3. Katzenbach R. Soil-structure-interaction of Tunnels and Superstructures During Construction and Service Time // Procedia Engineering. 2013. Vol. 57. P. 35–44.
4. Ter-Martirosyan Z. G., Ter-Martirosyan A. Z., Sobolev Ye. S. Creep and vibrocreep of soils: proceedings of the XIV International Symposium on Soil Rheology – Promising directions for the development of theory and practice in rheology and soil mechanics / KGASU. Kazan, 2014. P. 8–23.
5. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading : Proceedings international symposium, Kyoto, Japan – Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics / Balkema. Lieden, 2014. P. 742–747.
6. Tanaka T., Yoshiyuki Mohri, Zhussupbekov A. Zh. Elasto-plastic and Viscoplastic Finite Element Analysis – Direct Shear Box Test and Dynamic Deformation of Reinforced Embankment Dam : proceedings of the XIII international symposium on Soil Rheology – Achievements, Problems and Perspective Directions of Development for the Theory and Practice of Soil Mechanics and Foundation Engineering Problems / KGASU. Kazan, 2012. P. 18–26.

7. Siraziev L. F. The stressed-stained state experimental researches of multilayered soilbases under the stamp center at short term tests // Innovation and Investment. 2018. № 11. P. 225–228.
8. Ter-Martirosyan Z. G., Mirnyj A. Yu., Sobolev Ye. S. Features of determining the parameters of modern soil models during laboratory tests // Geotechnika. 2016. № 1. P. 66–72.
9. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground / Balkema. Lieden, 2014. P. 401–404.
10. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Strength and deformability of clay soil under different triaxial load regimes that consider crack formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Vol. 53. Iss. 1. P. 5–11.

УДК 624.019; 624.072
Кузнецов Иван Леонидович
доктор технических наук, профессор
E-mail: kuz377@mail.ru
Хусаинов Дамир Миннигалеевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: xdmt@mail.ru
Хабибулина Альбина Гомеровна
кандидат экономических наук, доцент
E-mail: albgomer@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Пеньковцев Сергей Александрович
кандидат технических наук, ведущий инженер
E-mail: restavratsija@mail.ru
ООО «Инженерный центр «Энергопрогресс»
Адрес организации: 420044, Россия, г. Казань, ул. Волгоградская, д. 34

Разработка сборно-разборного фундамента балластного типа для стоечных конструкций

Аннотация

Постановка задачи. Разработка фундаментов для стоечных конструкций, отвечающих современным критериям по демонтажу и возможности использования в условиях ограничений.

Результат. Предложена расчетная модель конструкции сборно-разборного фундамента балластного типа под опоры воздушных линий, сотовой связи, светосигнального оборудования, антенн и т.п. Расчет модели производился в программном комплексе «Лира-САПР». Расчетная схема предлагаемой конструкции представляет собой пространственную конечно-элементную модель «фундамент – грунтовое основание». Проведенные исследования показали существенное влияние фактора плотности засыпки полостей сборно-разборных фундаментов на их несущую способность. Значительное влияние также оказывает расчетное сопротивление грунта под подошвой фундамента на величину расчетного момента, воспринимаемого фундаментом. Полученные численные результаты позволили определить в указанном диапазоне расчетных нагрузок необходимые для их восприятия конструктивные параметры фундамента: количество, размеры и армирование ячеек, вид засыпки полостей ячеек.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в целесообразности применения разработанного сборно-разборного фундамента балластного типа, исходя из требований вводимых новых стандартов для стоечных конструкций. Обеспечивается нормативная несущая способность и необходимая деформативность рассматриваемых фундаментов от действия расчетных моментов.

Ключевые слова: сборно-разборный фундамент, стоечные конструкции, фундамент балластного типа.

Введение

Стоечные конструкции, в последние десятилетия, активно используются для установки светосигнального оборудования, опор сотовой связи, антенн, рекламных щитов и т.п. [1, 2]. Авторы продолжают исследования по моделированию сборно-разборных фундаментов балластного типа, для вышеуказанных конструкций, отвечающих современным критериям по демонтажу и возможности использования в условиях ограничений*.

*Хусаинов Д.М., Пеньковцев С.А., Хабибулина А.Г. Разработка фундаментов балластного типа для стоечных конструкций // Известия КГАСУ. 2017. № 4 (42). С. 204–213.

Для стоечных конструкций распространены фундаменты, устанавливаемые в открытом котловане, и выполненные в виде монолитной или сборной железобетонной плиты с анкерными болтами для закрепления основания опоры. Недостатком таких фундаментов являются большие транспортные габариты, что затрудняет транспортирование и монтаж [3].

На сегодняшний день существует ряд конструктивных решений сборно-разборных фундаментов под опору [4-6]. Наиболее близким к предложенной расчетной модели является сборно-разборный фундамент под стоечную конструкцию, включающий отдельные железобетонные блоки в виде полых призм совместно с основанием, стянутых между собой болтами. При этом часть блоков снабжена анкерными устройствами для крепления опоры [5]. Недостатком такого решения является сложность крепления полых призм между собой, связанная с множеством болтовых соединений, а также сложность крепления анкерных устройств к опоре.

В данной статье авторами рассматривается новое конструктивное решение сборно-разборного фундамента балластного типа, на которое был получен патент на изобретение [7]. Предложенная конструкция фундамента обладает повышенной легкостью монтажа и демонтажа, возможностью изменения размеров в зависимости от величин воспринимаемых расчетных нагрузок.

Расчетная модель фундамента

Расчет модели производился в программном комплексе «Лира-САПР». На основании предыдущего опыта исследований расчетная схема предлагаемой конструкции представляет собой пространственную конечно-элементную модель «фундамент – грунтовое основание» [8-10].

Расчет моделей выполнен в физически нелинейной постановке. В качестве основных варьируемых параметров приняты следующие значения:

- значение изгибающего момента M (3 тм, 5 тм и 7,5 тм);
- плотность засыпки (1000 кг/м^3, 1300 кг/м^3 и 1600 кг/м^3);
- продольная сила от веса опоры N = 1 т;
- расчетное сопротивление грунта отрыву R_t (0,05 т/м^2, 0,15 т/м^2, 0,30 т/м^2);
- расчетное сопротивление грунта сжатию R_c (5 т/м^2, 15 т/м^2, 30 т/м^2).

Основные результаты расчета для фундамента с размером подошвы 3×3 м представлены в таблице.

Представленные в таблице значения напряжений в грунте R_1 и R_2 показывают отсутствие (знак минус) отрыва подошвы фундамента от грунта основания.

Таблица

Основные результаты расчета

№ п/п	Величина момента M, тм	Плотность засыпки ρ, т/м^3	Расчетн. сопр. грунта отрыву R_t, т/м^2	Расчетн. сопр. грунта сжатию R_c, т/м^2	Результаты								Примечание
					Напряжения в грунте, т/м^2			Перемещение, мм			Среднее напр-я в бетоне, т/м^2		
					R_1	R_2	a, мм	dz_2	dz_1	x	N_1	N_3	
1	3	1	0,05	5	-1,6	-0,24	650	-40	-75	-3	282	-650	Разрушение грунта Отрыв
2	3	1	0,07	5	-1,6	-0,24	650	-41	-76	-3	282	-650	Разрушение грунта Отрыв
3	3	1	1	5	-1,6	-0,24	620	-41	-77	-3	224	-480	Разрушение грунта Отрыв
4	3	1	1	15	-4,55	-0,22	360	-2,5	-6,1	-1	284	-648	Требуется армирование Отрыв

Продолжение таблицы

№ п/п	Величина момента, М, тм	Плотность засыпки, ρ, т/м^3	Расчетн. сопр. грунта отрыву R_t, т/м^2	Расчетн. сопр. грунта сжатию R_c, т/м^2	Результаты								Примечание
					Напряжения в грунте, т/м^2			Перемещение, мм			Среднее напр-я в бетоне, т/м^2		
					R_1	R_2	a, мм	dz_2	dz_1	x	N_1	N_3	
5	3	1	1	30	-4,54	-0,22	360	-2,51	-6,09	-1	284	-648	Требуется армирование Отрыв
6	3	1,3	0,05	30	-5,22	-0,54	0	-2,94	-6,87	-2	363	-1540	Требуется армирование
7	5	1,3	0,05	30	-6,41	-0,2	665	-2,45	-8,76	-3	507	-1050	Требуется армирование Отрыв
8	7,5	1,3	0,05	30	-5,71	-0,19	1440	-2,19	-31,7	-5	918	-1410	Отрыв Разрушение!
9	3	1,6	0,05	30	-6,12	-1,38	0	-3,54	-7,22	-2	101	-831	Требуется армирование

Примечание:
- разрушение совершается по грунту;
- знак «-» в значение dz соответствует перемещению вниз;
- знак «-» в значение dx соответствует перемещению влево;
- знак «-» в значение напряжений соответствуют сжатию;
- для бетона показаны усреднённые значения главных напряжений.

Для расчетных моделей определялись максимальные расчетные значения момента, воспринимаемого фундаментом Mult, в зависимости от расчетного сопротивления грунта и плотности засыпки. Значение Mult определялось при доведении фундамента до виртуального разрушения. В качестве критерия принималось значение отрыва фундамента. Точность результатов равна шагу приращения нагрузки. Значения Mult показаны на графиках (рис. 1-2).

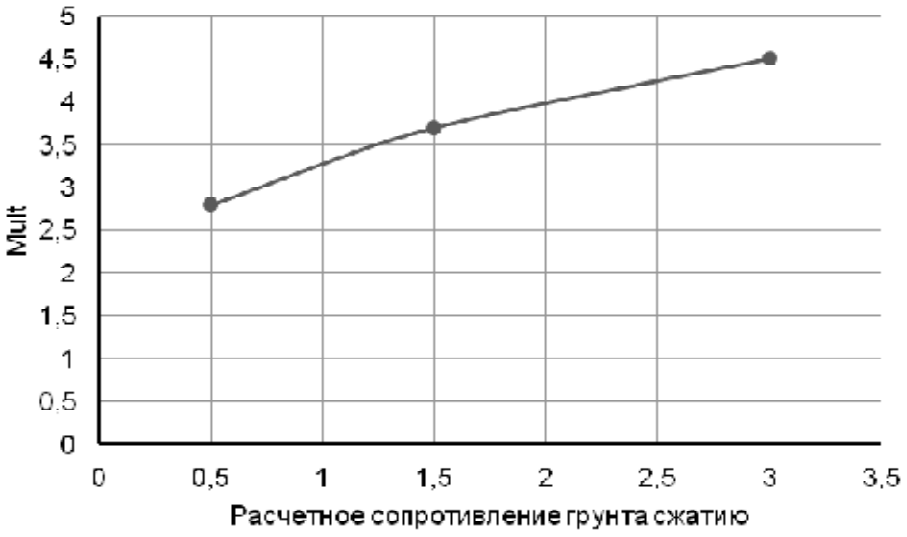


Рис. 1. Зависимость Mult от расчетного сопротивления грунта (иллюстрация авторов)

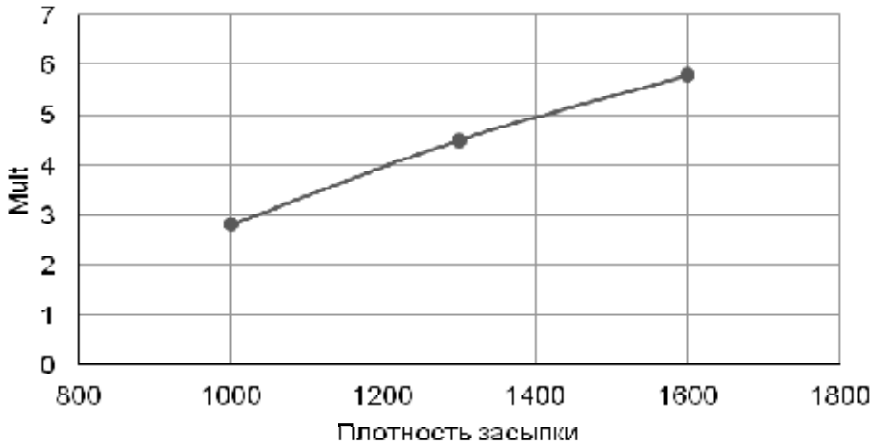


Рис. 2. Зависимость Mult от плотности засыпки (иллюстрация авторов)

Результаты и виды расчетных моделей

Проведенные исследования влияния фактора плотности засыпки полостей сборно-разборных фундаментов показали существенное влияние фактора плотности засыпки фундаментов на их несущую способность. Для рассмотренных моделей увеличение плотности засыпки от неплотного грунта, крупного гравия (1000 кг/м^3) до уплотненного грунта (1600 кг/м^3) привело к увеличению величины расчетного момента, воспринимаемого фундаментом, в 2 раза.

Проведенные исследования влияния расчетного сопротивления грунта под подошвой фундамента на величину расчетного момента, воспринимаемого фундаментом, выявили существенное влияние указанного фактора. Изменение расчетного сопротивления грунта от 1 кг/см^2 (слабый насыпной грунт) до 3 кг/см^2 (грунт с хорошими средними по прочности характеристиками) приводило к увеличению расчетного момента, воспринимаемого фундаментом, в 1,5 раза. Данный фактор делает актуальным проведение специальных технологических мероприятий в виде уплотнения грунта в зоне установки сборно-разборного фундамента.

Результаты и виды расчетных моделей в графической форме приведены на рис. 3-8.

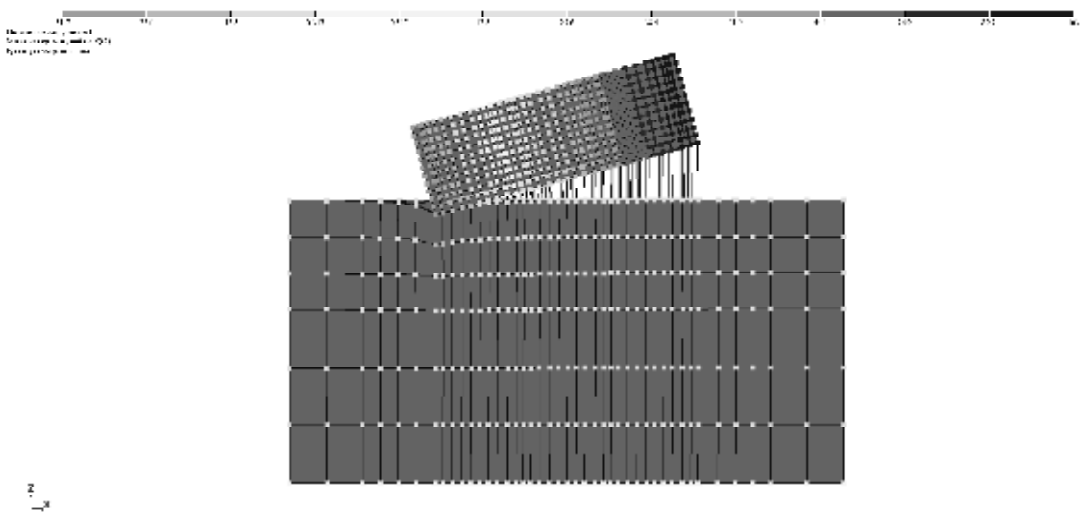


Рис. 3. Перемещения Z (иллюстрация авторов)

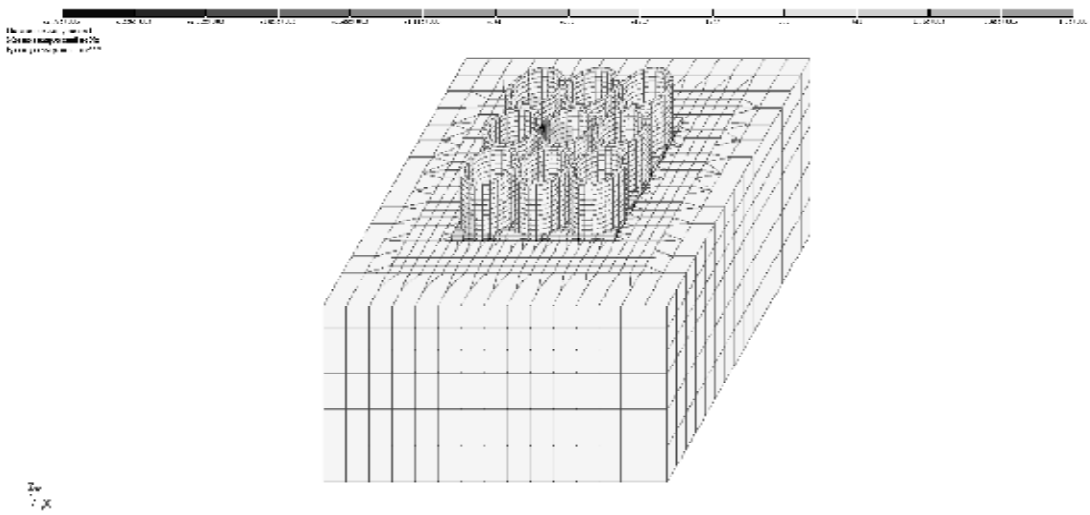


Рис. 4. Мозаика напряжений по N_z (иллюстрация авторов)

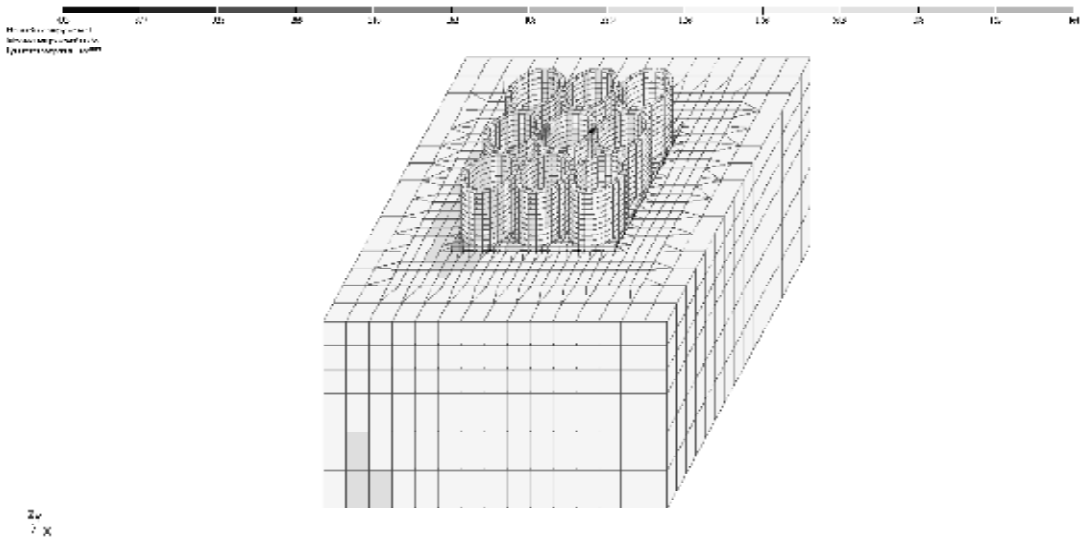


Рис. 5. Мозаика напряжений по N_y (иллюстрация авторов)

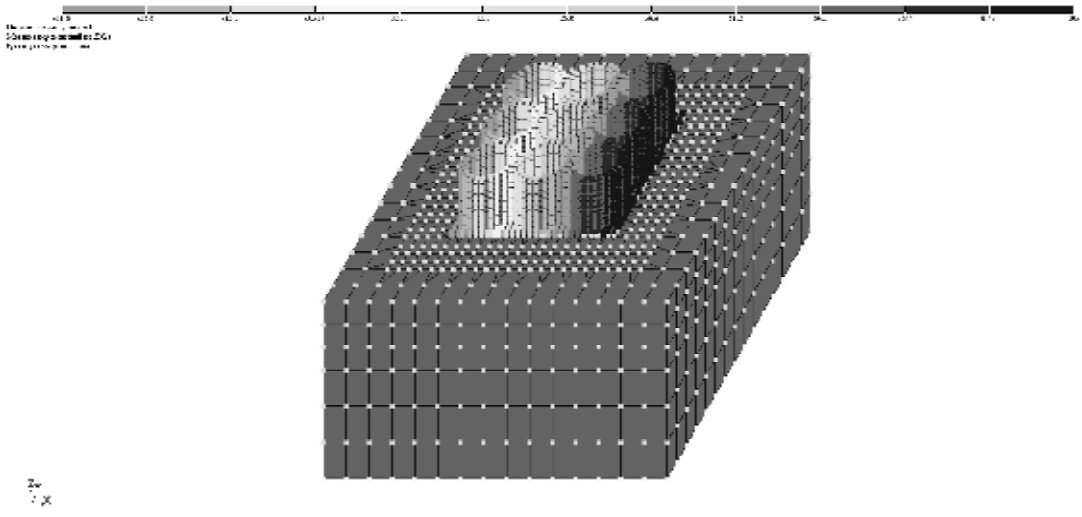


Рис. 6. Перемещения по z для бетона (иллюстрация авторов)

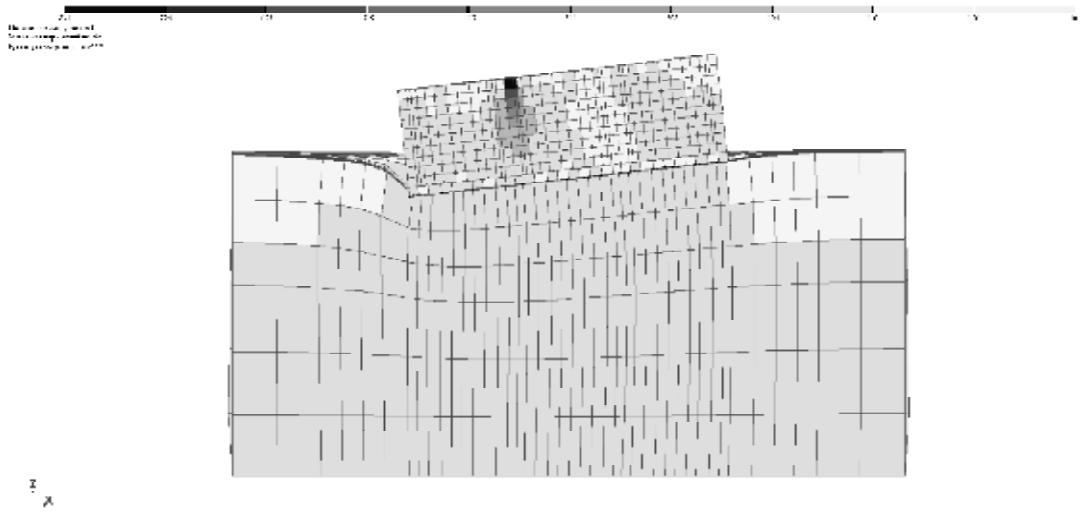


Рис. 7. Мозаика напряжений по N_z (иллюстрация авторов)

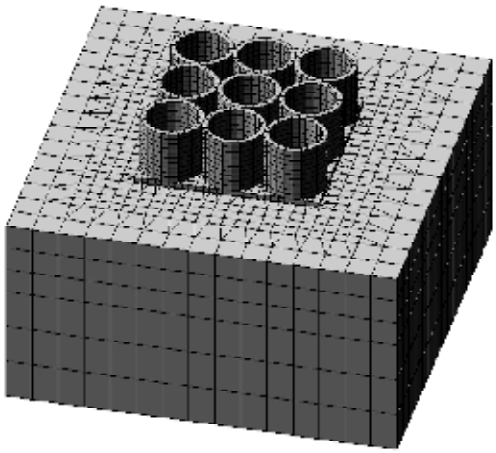


Рис. 8. Общий вид модели (иллюстрация авторов)

Конструктивное решение предложенной модели

Перед авторами стояла задача уменьшения числа соединительных болтов в блоках и в упрощении крепления анкерных устройств. Решение заключаются в том, что фундамент под опору включает отдельные железобетонные блоки в виде полых элементов, состоящих из вертикальных стенок и нижних квадратных днищ. Стенки соседних блоков соединены болтами. Для креплений опор предусматриваются вертикальные анкерные устройства. При этом вертикальные стенки блоков выполнены в виде кругового очертания.

На рис. 9 представлена предлагаемая конструкция сборно-разборного фундамента под опору. Фундамент включает железобетонные элементы кругового очертания 1 с нижним квадратным днищем 2 и с отверстиями для крепления 3. На фундамент, в пределах блока кругового очертания 1, установлена опора 4. Опора устанавливается на анкера 5, которые крепятся болтами 6, соединяющими блоки кругового очертания 1. Данное конструктивное решение позволяет упростить монтирование несущих блоков и упростить крепление опор при помощи анкерных устройств. Для повышения устойчивости фундамента на опрокидывание, полости круговых блоков заполняются инертным материалом, например щебнем, песком и т.п.

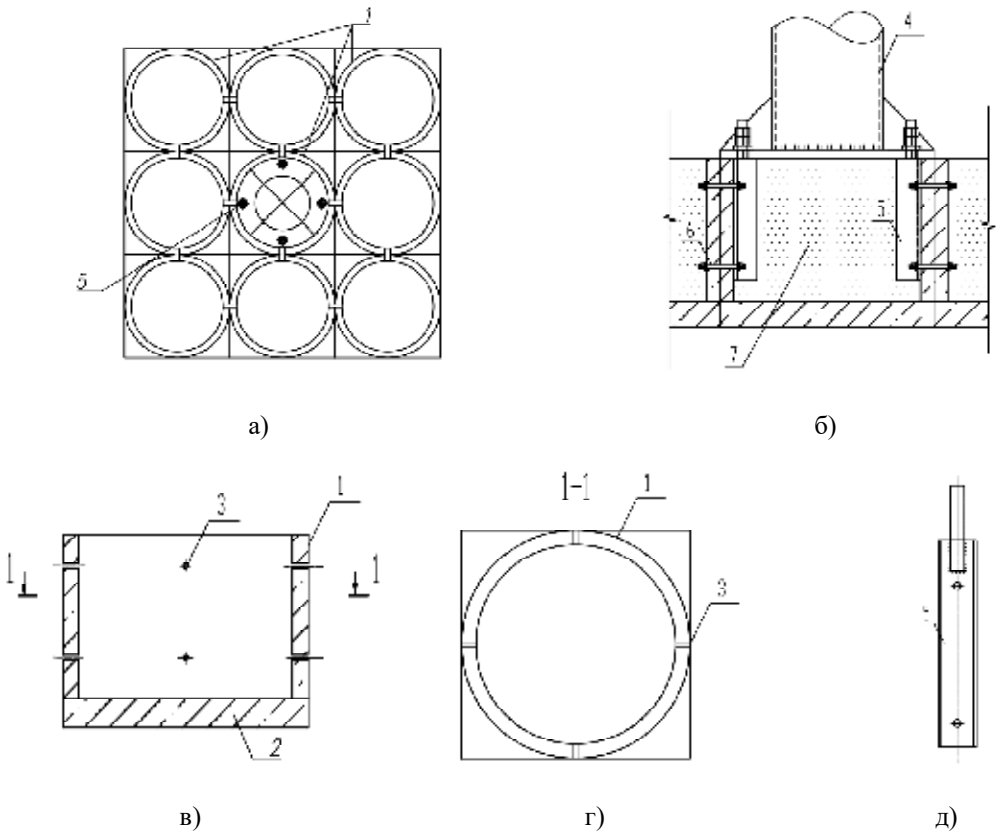


Рис. 9. Конструкция сборно-разборного фундамента под опору: а – общий вид; б – деталь опоры; в – отдельный железобетонный блок; г – разрез 1-1; д – общий вид анкера; 1 – железобетонные элементы кругового очертания; 2 – нижние квадратное днище; 3 – отверстия для крепления; 4 – опора; 5 – анкер; 6 – крепёжные болты; 7 – заполнение инертным материалом [7]

Заключение

Проведенные исследования показали существенное влияние фактора плотности засыпки полостей сборно-разборных фундаментов на их несущую способность. Значительное влияние также оказывает расчетное сопротивление грунта под подошвой фундамента на величину расчетного момента, воспринимаемого фундаментом. Полученные численные результаты позволили определить в указанном диапазоне расчетных нагрузок необходимые для их восприятия конструктивные параметры фундамента: количество, размеры и армирование ячеек, вид засыпки полостей ячеек.

Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в целесообразности применения разработанного сборно-разборного фундамента балластного типа, исходя из требований вводимых новых стандартов для стоечных конструкций. Нормативная несущая способность и необходимая деформативность рассматриваемых фундаментов от действия расчетных моментов обеспечивается.

Список библиографических ссылок

1. Ken Schmidt. Types of Cell Towers // Steel in the Air : official website. 2013. URL: https://www.steelintheair.com/cell-phone-tower/ (дата обращения: 01.09.2019).
2. Савина Н. В., Варыгина А. О. Анализ целесообразности применения существующих методических подходов проектирования к воздушным линиям нового поколения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2019. Т. 19, № 2. С. 69–79.
3. Рекламный щит : пат. 2243596 Рос. Федерация. № 2003109272 ; заявл. 01.04.2003 ; опубл. 27.12.2004, Бюл. № 36. 6 с.
4. Foundation system for supporting a superstructure : patent 6050038A of the United

States. Appl. No.: 09/152,092; decl. 11.09.1998 ; publ. 18.04.2000. 11 p.
5. Сборно-разборный фундамент под опору : пат. 2625060 Рос. Федерация. № 2016121298 ; заявл. 30.05.2016 ; опубл. 11.07.2017, Бюл. № 20. 3 с.
6. Сборно-разборный фундамент под опору : пат. 2633604 Рос. Федерация. № 2016134679; заявл. 24.08.2016 ; опубл. 13.10.2017, Бюл. № 29. 4 с.
7. Сборно-разборный фундамент под опору : пат. 2681126 Рос. Федерация. № 2017143295; заявл. 11.12.2017 ; опубл. 04.03.2019, Бюл. № 7. 3 с.
8. Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanshin I. R., Strelkov Yu. M., Khusainov D. M. Development and investigation of the stressed-deformed state of the demountable foundation for support // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 240. 8 p.
9. Strelkov Y. M., Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanshin I. R. Investigation of the joint operation of electric transmission lines with a new type concrete reinforced concrete foundation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 412. 5 p.
10. Радайкин О. В., Шарафутдинов Л. А., Сабитов Л. С., Стрелков Ю. М. Исследование совместной работы опор линий электропередач со сборным железобетонным фундаментом нового типа на основе компьютерного моделирования в ПК ANSYS : сб. трудов VIII Международной научно-технической конференции (МНТК «ИМТОМ-2017») / Казань. 2017. С. 213–219.

Kuznetsov Ivan Leonidivich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: kuz377@mail.ru
Khusainov Damir Minnigaleevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: xdmt@mail.ru
Khabibulina Albina Gomerovna
candidate of economical sciences, associate professor
E-mail: albgomer@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Penkovcev Sergej Aleksandrovich
candidate of technical sciences, leading engineer
E-mail: restavratsija@mail.ru
LLC «Engineering centre «Energoprogress»
The organization address: 420044, Russia, Kazan, Volgogradskaya st., 34

Development of demountable foundation of ballast type for rack-mounted construction

Abstract

Problem statement. Development of foundations for rack structures that meet modern criteria for dismantling and the possibility of use in conditions of restrictions.

Results. Proposed the calculation model of the construction of demountable foundation of ballast type under the support of air lines, cellular communication, lighting equipment, antennas, etc. Calculation of the model was made in the software complex «Lira-CAD». The design scheme of the proposed design is a spatial finite element model «foundation-ground base». Studies have shown a significant influence of the density factor filling cavities demountable foundations on their bearing capacity. Significant influence is also exerted by the calculated resistance of the soil under the sole of the Foundation on the value of the calculated moment perceived by the Foundation. The obtained numerical results made it possible to determine in the specified range of design loads the structural parameters of the Foundation necessary for their perception: the number, size and reinforcement of cells, the type of filling of cell cavities.

Conclusions. The significance for the construction industry lies in the feasibility of using the developed demountable foundation of ballast type, based on the requirements of the new

standards for rack structures. Normative bearing capacity and necessary deformability of these foundations from the action of design moments is provided.

Keywords: demountable foundation, rack structures, ballast type foundation.

References

1. Ken Schmidt. Types of Cell Towers // Steel in the Air : official website. 2013. URL: https://www.steelintheair.com/cell-phone-tower/ (reference date: 01.09.2019).
2. Savina N. V. Varygina A. O. The analysis of expediency of application of existing methodical approaches of design to air lines of new generation // Vestnik YUUrGU. Seriya «Energetika». 2019. Vol. 19, № 2. P. 69–79.
3. Billboard : patent 2243596 of the Rus. Federation. № 2003109272 ; decl. 01.04.2003 ; publ. 27.12.2004, Bull. № 36. 6 p.
4. Foundation system for supporting a superstructure : patent 6050038A of the United States. Appl. № : 09/152,092; decl. 11.09.1998 ; publ. 18.04.2000. 11 p.
5. Demountable foundation for pillar : patent 2625060 of the Rus. Federation. № 2016121298 ; decl. 30.05.2016 ; publ. 11.07.2017, bull. № 20. 3 p.
6. Demountable foundation for pillar : patent 2633604 of the Rus. Federation. № 2016134679; decl. 24.08.2016 ; publ. 13.10.2017, bull. № 29. 4 p.
7. Demountable foundation for pillar : patent 2681126 of the Rus. Federation. № 2017143295; decl. 11.12.2017 ; publ. 04.03.2019, bull. № 7. 3 p.
8. Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanshin I. R., Strelkov Yu. M., Khusainov D. M. Development and investigation of the stressed-deformed state of the demountable foundation for support // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 240. 8 p.
9. Strelkov Y. M., Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanshin I. R. Investigation of the joint operation of electric transmission lines with a new type concrete reinforced concrete foundation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 412. 5 p.
10. Radaikin O. V., Sharafutdinov L. A., Sabitov L. S., Strelkov Yu. M. Study of joint work of transmission line supports with precast concrete foundation of a new type based on computer modeling in PC ANSYS : proceedings of the VIII International scientific and technical conference (ISTC «IMTOM-2017») / Kazan. 2017. P. 213–219.

УДК 624.151.2
Мирсаяпов Илизар Талгатович
доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
Нуриева Дания Мансуровна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: danm_n@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Шакиров Ильдус Фатихович
кандидат технических наук, генеральный директор
E-mail: fsrshakirov@mail.ru
ООО НППФ «Фундаментспецремонт»
Адрес организации: 420087, Россия, г. Казань, ул. Гвардейская, д. 56

Исследование влияния реконструкции 12-ти этажного административного здания на техническое состояние зданий окружающей застройки

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследований является определение степени влияния реконструкции многоэтажного здания с надстройкой дополнительных этажей на осадки и техническое состояние существующих зданий окружающей застройки.

Результаты. Основными результатами выполненных исследований является получение новых данных о деформациях в грунтовом основании и конструкциях зданий окружающей застройки при изменении напряженно-деформированного состояния основания в сложных инженерно-геологических условиях.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в установлении влияния реконструкции здания на окружающую застройку, результаты исследований могут быть использованы при реконструкции зданий со значительным увеличением нагрузок на грунтовое основание.

Ключевые слова: основание, свайно-плитный фундамент, напряженно-деформированное состояние, несущая способность, численное исследование.

Введение

Реконструкция здания с увеличением нагрузок на фундаменты и грунтовое основание вызывает появление дополнительных напряжений в основании близлежащих зданий и, как следствие, может вызвать их неравномерную осадку [1-7]. В связи с этим возникает необходимость оценки влияния реконструкции на техническое состояние существующих зданий окружающей застройки.

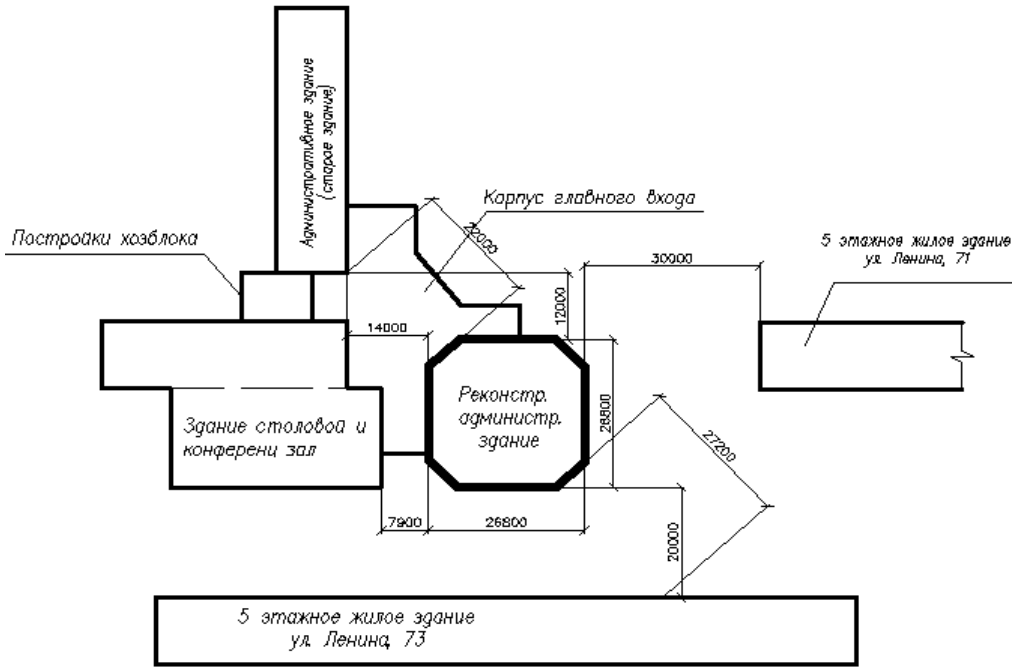
Исследуемые здания и расчетные предпосылки

Реконструируемое двенадцатиэтажное административное здание территориально расположена по улице Ленина в г. Альметьевске. Здание имеет жесткую каркасную несущую систему из монолитного железобетона, построено на свайно-плитном фундаменте. Проект реконструкции здания предусматривает надстройку дополнительных этажей и изменение конструкции фасада, что приводит к существенному увеличению нагрузки на грунтовое основание.

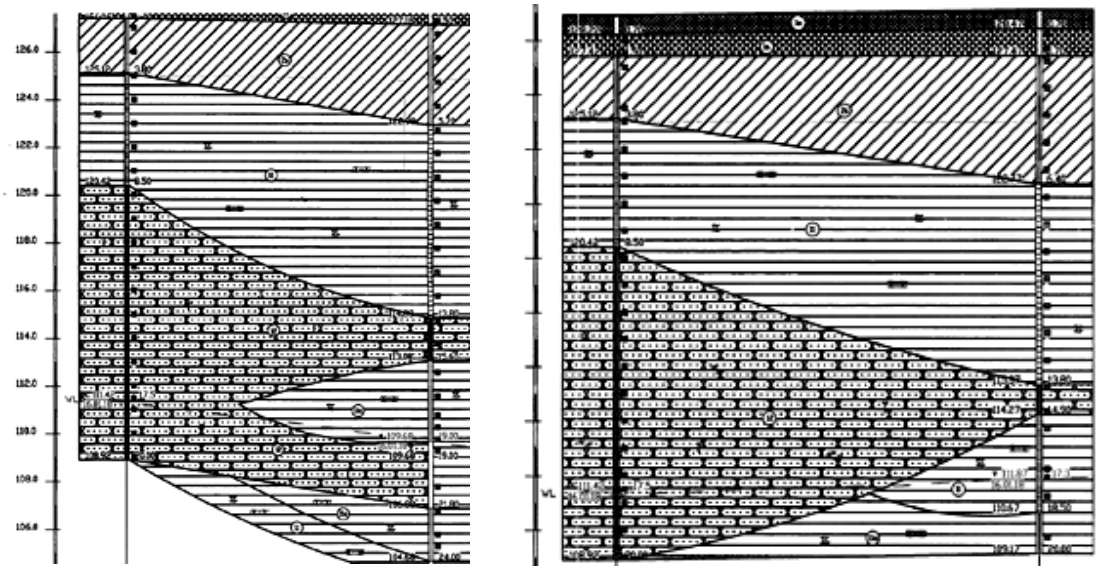
В непосредственной близости от реконструируемого здания на расстоянии 8-30 м находятся два пятиэтажных жилых дома, многоэтажное административное здание (старое) и 2-х этажное здание столовой с конференц-залом. Схема расположения строений приведена на рис. 1а.

В соответствии с СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», при проектировании оснований, фундаментов и подземных частей реконструируемых зданий и сооружений, располагаемых на застроенной территории, необходимо выполнять геотехнический прогноз влияния строительства на изменение напряженно-

деформированного состояния окружающего грунтового массива, в том числе оснований сооружений окружающей застройки. Геотехнический прогноз выполняется с учетом вертикальной нагрузки от реконструируемых сооружений, изменения уровня грунтовых (подземных) вод, вибрационных и динамических воздействий при выполнении строительно-монтажных работ.



а)



б)

Рис. 1. Особенности строительной площадки (иллюстрации авторов): а) схема расположения зданий; б) инженерно-геологические разрезы

По результатам геотехнического прогноза должны быть определены:

- радиус зоны влияния – $r_{зв}$;
- значения дополнительных деформаций оснований и фундаментов сооружений окружающей застройки – S_{ad}.

Радиус влияния нового строительства $r_{зв}$ допускается ограничивать расстоянием, при котором расчетное значение дополнительной осадки основания существующего здания окружающей застройки не превышает 1 мм, за исключением расположения на границе зоны влияния зданий окружающей застройки, категория технического состояния которых предаварийная или аварийная.

Дополнительная осадка основания фундамента зданий существующей застройки S_{ad} не должна превышать предельного значения $S_{ad,u}$, устанавливаемого сводом правил СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», т.е. необходимо выполнение условия:

$$S_{ad} \leq S_{ad,u}. \quad (1)$$

Если, по результатам геотехнического прогноза, вышеуказанное условие не выполняется, рекомендуется предусматривать мероприятия, снижающие дополнительные осадки существующих зданий окружающей застройки.

Перед выполнением геотехнического прогноза было проведено техническое обследование состояния конструкций зданий окружающей застройки, расположенных в зоне влияния реконструкции административного здания. По результатам технического обследования техническое состояния этих зданий было определено как ограниченно работоспособное. Поэтому величина допустимых дополнительных осадок указанных зданий составила 1 мм. Предельно допустимые дополнительные осадки фундаментов зданий окружающей застройки ограничивались величиной 3 см, предельно допустимые относительные разности дополнительных осадок были приняты 0,0008-0,001 (согласно п. 9.34 СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»).

Инженерно-геологические условия строительной площадки

Рассматриваемый участок местности приурочен к левобережной террасе долины р. Степной Зай, инженерно-геологические условия участка характеризуются невыдержанностью по залеганию слоев грунта по площади и глубине, неоднородностью их состава и состояния. В геологическом строении участка принимают участие аллювиально-делювиальные четвертичные отложения и верхнепермские элювиальные отложения, перекрытые на поверхности толщей техногенных отложений четвертичного возраста. Согласно данным инженерно-геологических изысканий, выполненным в 2018 году, в основании площадки залегают: техногенные насыпные грунты, распространенные по всей площадке, мощностью до 1,6 м; суглинки тугопластичные непросадочные, мощностью 2,3-4,7 м; глины верхнепермские, элювиальные, от твердой до тугопластичной консистенции, мощностью от 3,6 до 8,1 м; песчаники верхнепермские, элювиальные, низкой прочности, мощностью от 1,1 до 11,5 м. Характеристики грунтов представлены в табл. 1, характерные инженерно-геологические разрезы – на рис. 1б.

Таблица 1

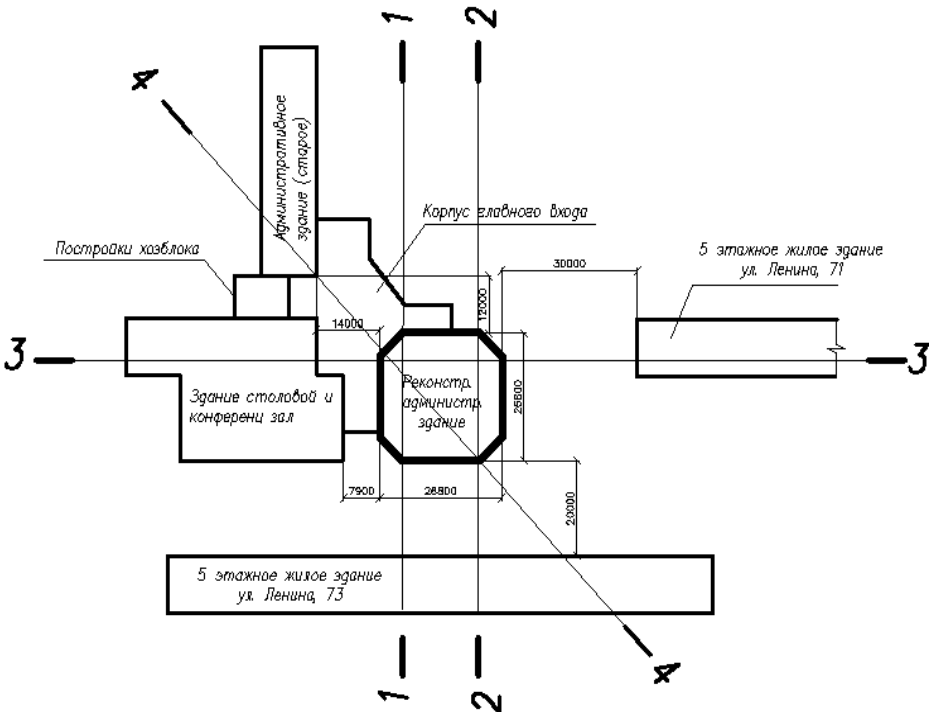
Характеристики грунтов

№ ИГЭ	Вид грунта	Плотность грунта, ρ, г/см^3	Угол внутреннего трения, φ, град.	Удельное сцепление, С, кПа	Модуль деформации, Е, МПа
1в	Насыпной грунт суглинистый, со строительным мусором	1,92 1,78	17,91 12,98	15,36 10,71	20,87 19,99
2б	Суглинок тугопластичный, непросадочный	2,02 2,00	13,04 12,68	38,25 37,43	15,27 14,45
11	Глина, твердая, полутвердая, известковая	2,03 1,98	16,47 14,78	52.58 47,36	39,67 38,30
11а	Глина, тугопластичная, с прослоями песчаника.	2,02 2,02	16,97 17,03	41,55 41,48	46,94 43,08
12	Песчаник верхнепермский, элювиальный	2,01 1,97	19,67 17,23	28,10 24,53	37,24 36,62

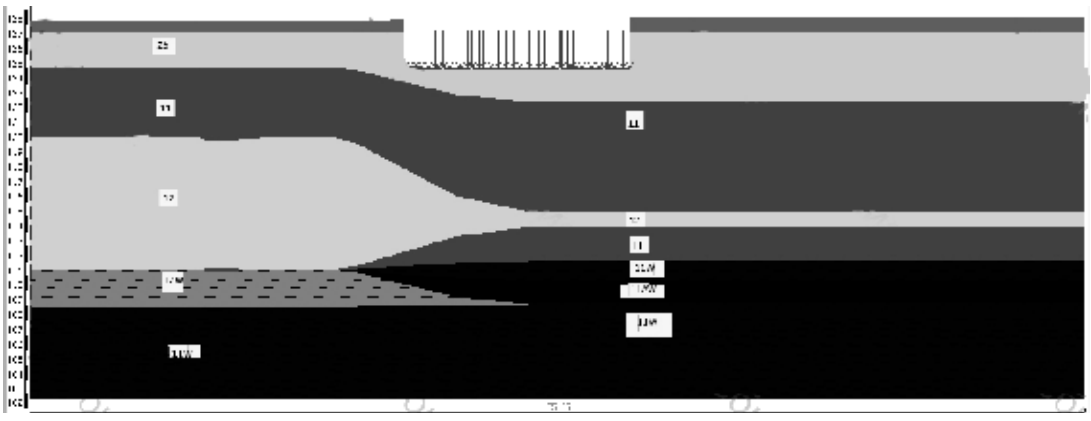
Примечание: В числителе дроби даны значения характеристик грунтов в природном состоянии, в знаменателе – при полном водонасыщении.

Численные исследования влияния реконструируемого здания на окружающую застройку

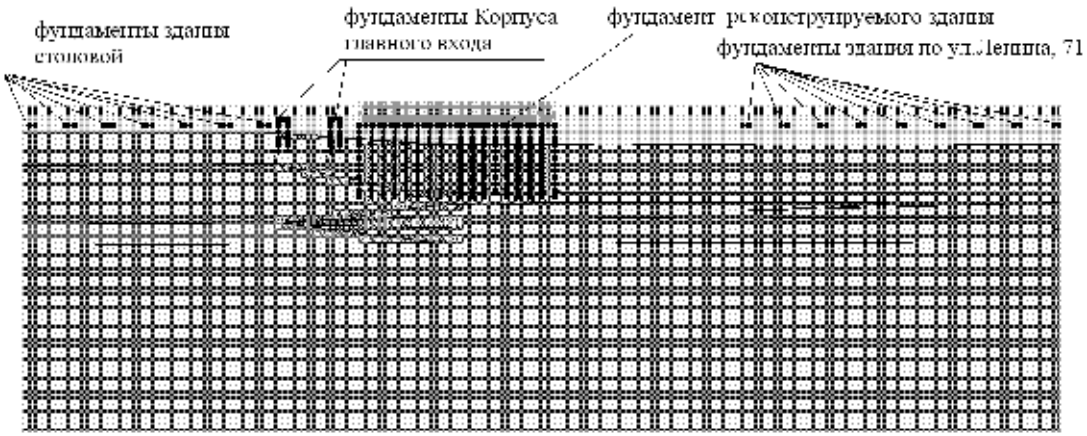
Оценка влияния осадки исследуемого здания на существующую застройку для периода эксплуатации была произведена с использованием расчетного комплекса ЛИРА [8-10] на основе наиболее характерных геологических разрезов (створов). Схема расположения рассматриваемых створов показана на рис. 2а. При этом были созданы расчетные компьютерные модели, включающие специальные конечные элементы (кэ № 281-284), моделирующие работу грунта в соответствии с законом Кулона-Мора. Модели были сформированы с учетом особенностей рельефа площадки строительства и напластования грунтов. Ростверк и сваи реконструируемого здания, а так же фундаменты зданий окружающей застройки моделировались с помощью балочных конечных элементов (кэ № 2), посредством которых производилась передача нагрузки от зданий на грунтовое основание. Характерная расчетная модель представлена на рис. 2а-б.



а)



б)



в)

Рис. 2. Характерный вид компьютерной расчетной модели (иллюстрация авторов):
а) схема расположения расчетных створов; б) геологический разрез (створ 3–3);
в) расчетная модель для створа 3–3

В качестве исходных параметров для конечных элементов, моделирующих работу грунта, задавались:

- модуль деформации грунта по ветви первичного нагружения;
- коэффициент Пуассона μ;
- коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения k_e (принимался равным 5 на основании СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»);
- расчетное удельное сцепление грунта C;
- расчетный угол внутреннего трения грунта φ;
- предельное напряжение при растяжении (принималось равным $R_t = 0{,}1C$ в соответствии с рекомендациями разработчиков программы);
- расчетный удельный вес грунта γ.

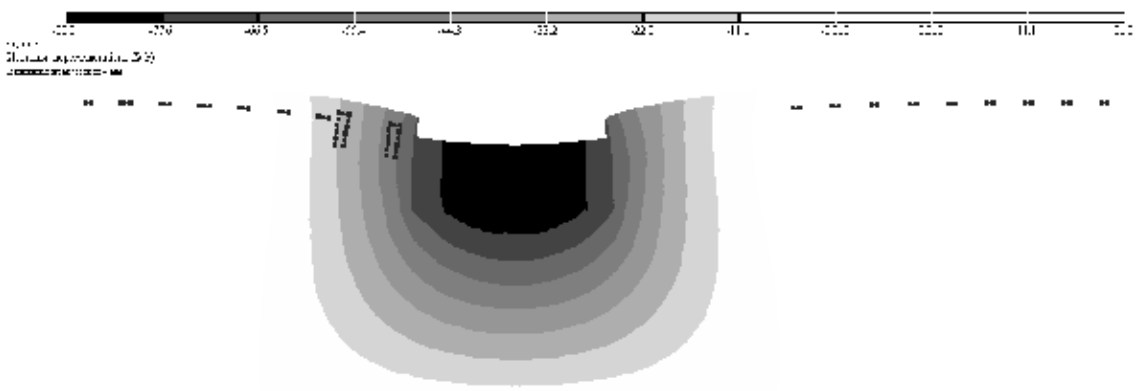
Расчетные характеристики грунтов были заданы на основании данных инженерно-геологических изысканий, представленных в табл. 1.

Нагружение моделей производилось в несколько стадий:

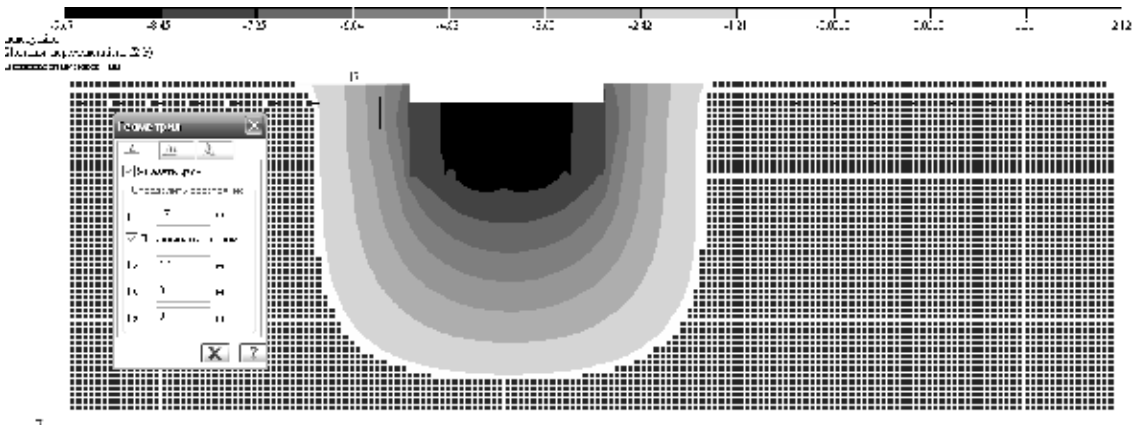
1 стадия – нагрузка от веса существующего массива грунта;

2 стадия – нагрузка от веса существующего здания;

3 стадия – нагрузка от веса надстраиваемых этажей здания и дополнительного веса новой фасадной системы.



а)



б)

Рис. 3. Характерная картина деформирования грунтов строительной площадки (иллюстрации авторов):
а) вертикальные деформации от реконструируемого здания с учетом надстройки;
б) дополнительные деформации после реконструкции здания и зона влияния

Дополнительные осадки под фундаментами существующих зданий от влияния реконструируемого здания определялись на стадии 3, с предварительным обнулением предыдущих перемещений узлов расчетной схемы. Предполагалось, что они давно стабилизировались. Относительная разность осадок определялась как отношение разности осадок крайних и средних фундаментов к расстоянию между этими фундаментами в соответствии с действующими нормами проектирования.

Характерная картина деформирования грунтового основания в пределах площадки строительства представлена на рис. 3, результаты расчетов сведены в табл. 2-3. Полученная расчетом зона влияния реконструируемого здания показана на рис. 4б.

Таблица 2

Дополнительные перемещения фундаментов

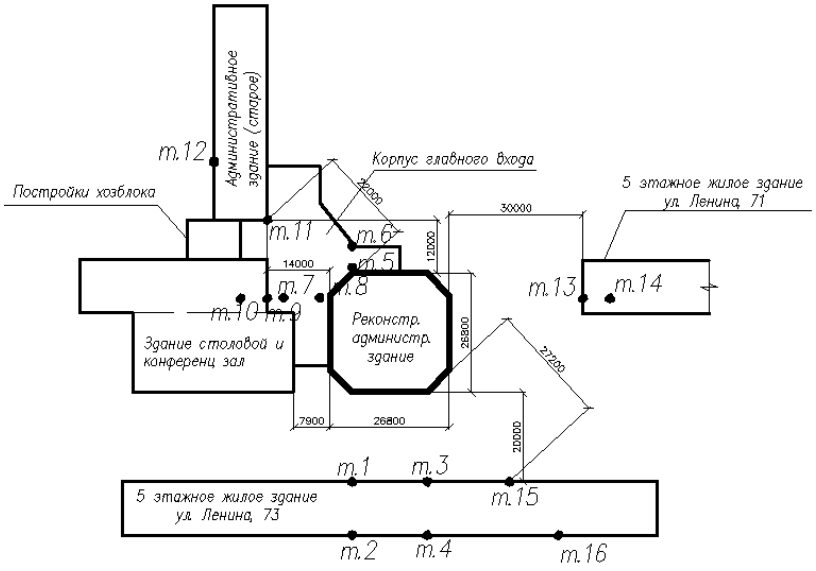
Здание	Номер точки	Дополнительная осадка S_{ad}, мм	Предельно допустимые значения, мм	Примечание
5-ти этажное жилое здание по ул. Ленина, 73	1	0,233	30	Здание вне зоны влияния
	2	0,000		
	3	0,051		
	4	0,000		
	15	0,000		
	16	0,000		
Корпус главного входа	5	5,73	30	Здание в зоне влияния, дополнительные осадки в пределах допуска.
	6	3,3		
	7	5,21		
	8	2,091		
Здание столовой	9	1,25	30	Доп. осадки в пределах допуска
	10	0,02		
Административное здание (старое здание)	11	0,368	30	Здание вне зоны влияния
	12	0,000		
5-ти этажное жилое здание по ул. Ленина, 71	13	0,931	30	Здание вне зоны влияния
	14	0,61		

Примечание: Расположение точек (рис. 4а).

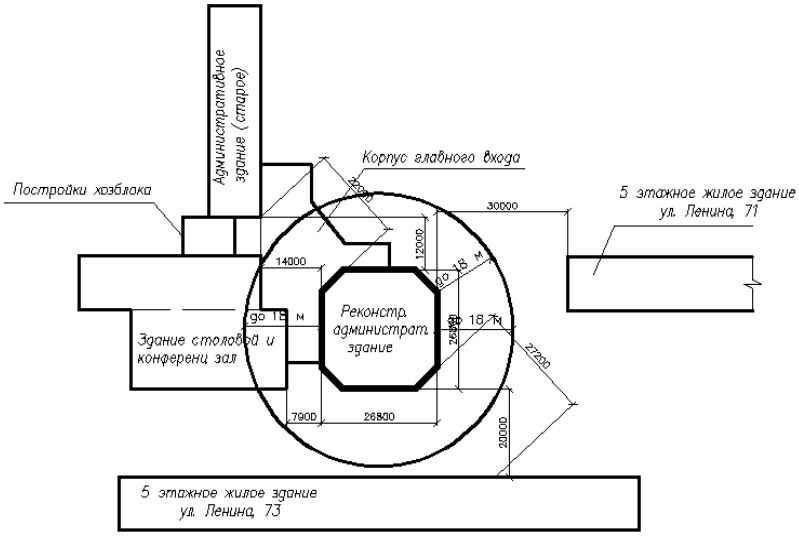
Таблица 3

Относительная разность осадок фундаментов

Здание	Номер точек	Относительная разность дополнительных осадок	Предельно допустимая разность осадок, мм	Примечание
5-ти этажное жилое здание по ул. Ленина, 73	1-2	0,00001946	0,0008	В пределах допуска
	3-4	0,00000425		
	15-16	0		
Корпус главного входа	5-6	0,0004	0,001	В пределах допуска
	7-8	0,000395	0,001	
Здание столовой	9-10	0,0002015	0,001	В пределах допуска
Административное здание (старое)	11-12	0,000021	0,001	В пределах допуска
5-ти этажное жилое здание по ул. Ленина, 71	13-14	0,000535	0,001	В пределах допуска



а)



б)

Рис. 4. Схемы к определению зоны влияния реконструируемого здания (иллюстрации авторов):
а) схема размещения характерных точек;
б) здания, попадающие в зону влияния реконструируемого здания

Из табл. 2-3 видно, что расчетные дополнительные осадки оснований и фундаментов зданий, расположенных вблизи реконструируемого здания, составляют от 0 до 5,73 мм, что находится в пределах допустимого значения (30 мм), а относительная разность осадок – от 0,00 до 0,0004, что также не превышает предельно допустимые значения (0,001).

Заключение

Проведенные численные исследования позволили установить, что радиус зоны влияния реконструируемого здания составляет 14-18 м от контура здания.

Расчетные дополнительные осадки зданий окружающей застройки составляют от 0 до 5,73 мм, что находится в пределах допустимых значений. Относительная разность осадок соседних фундаментов – от 0.00 до 0.0004, что также находится в пределах допусков. Следовательно, разработка дополнительных мероприятий не требуется.

Список библиографических ссылок

1. Мирсаяпов Илизар Т., Королева И. В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 4. С. 16–23.
2. Сиразиев Л. Ф. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния слоистых грунтовых оснований под центром штампа при кратковременных испытаниях // Инновации и инвестиции. 2018. № 11. С. 225–228.
3. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading : Proc. intern. symp., Kyoto, Japan – Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics / Balkema. Lieden, 2014. P. 742–747.
4. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground / Balkema. Lieden, 2014. P. 401–404.
5. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Strength and deformability of clay soil under different triaxial load regimes that consider crack formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Volume 53. Iss. 1. P.5–11.
6. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Calculation models of bearing capacity and deformation of soil foundations with vertical elements reinforced under cyclic loading : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – ICSMGE 2017 – 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering 2017-September, P. 2599–2602.
7. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Long-term Settlements Assessment of High-rise Building Groundbase Based on Analytical Ground Deformation Diagram : Proc. intern. symp., St.Petersbug; Russian Federation – ACUUS 2016 – 15th International Scientific Conference Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development , Volume 165, 2016. P. 519–527.
8. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. Киев : Факт, 2005. 344 с.
9. Городецкий А. С., Батрак Л. Г., Городецкий Д. А., Лазнюк М. В., Юсипенко С. В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. Киев : Факт, 2004. 106 с.
10. Мирсаяпов Илизар Т., Нуриева Д. М., Королева И. В. Исследование влияния строительства жилого комплекса в овраге «Галеевский» г. Казани на осадки и техническое состояние зданий окружающей застройки: сб. трудов Всероссийской научно-технической конференции – Инженерно-геотехнические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений / СПГАСУ. Спб., 2017. С. 37–41.

Mirsayapov Ilizar Talgatovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: mirsayapov@kgasu.ru
Nurieva Daniya Mansurovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: danm_n@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Shakirov Ildus Fatihovich
candidate of technical sciences, associate professor, general director
E-mail: fsrshakirov@mail.ru
LLC «Fundamentspecremont»
The organization address: 420087, Russia, Kazan, Gvardeiskaya st., 56

The researches of the influence from 12-story administrative building reconstruction on the technical condition surrounding buildings

Abstract

Problem statement. The purpose of research is to determine the degree of influence from multi-storey building reconstruction with adding floors on the settlements and technical condition of surrounding existing buildings.

Results. The main results of the research are to get a new data about deformations in the ground base and in the constructions of surrounding buildings while stress-strain state changing of the ground base at difficult engineering and geological conditions.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry is to find the effect from building reconstruction on the surrounding buildings, the research results can be used during buildings reconstruction with a significant loads increase on the ground base.

Keywords: foundation, pile-slab foundation, stress-strain state, bearing capacity, numerical study.

References

1. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Prediction of deformation of the foundation with the long-term non-linear deformation of soil // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2011. № 4. P. 16–23.
2. Siraziev L. F. Experimental researches of the stress-strain condition of a layered soil base in the centers of a stamp during short-term tests // Innovacii i investicii. 2018. № 11. P. 225–228.
3. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading : Proc. intern. symp., Kyoto, Japan – Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics / Balkema. Lieden, 2014. P. 742–747.
4. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground / Balkema. Lieden, 2014. P. 401–404.
5. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Strength and deformability of clay soil under different triaxial load regimes that consider crack formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Vol. 53. Iss. 1. P. 5–11.
6. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Calculation models of bearing capacity and deformation of soil foundations with vertical elements reinforced under cyclic loading : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – ICSMGE 2017 – 19th International Conference on

Soil Mechanics and Geotechnical Engineering 2017-September, P. 2599–2602.
7. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Long-term Settlements Assessment of High-rise Building Groundbase Based on Analytical Ground Deformation Diagram : Proc. intern. symp., SPb.; Russian Federation – ACUUS 2016 – 15th International Scientific Conference Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development, Vol. 165, 2016. P. 519–527.
8. Gorodetsky A. S., Evzerov I. D. Computer models of structures. Kiev : Fact, 2005. 344 p.
9. Gorodetsky A. S., Batrak L. G., Gorodetsky D. A., Laznyuk M. V., Yusipenko S. V. Calculation and design of structures of high-rise buildings from monolithic reinforced concrete. Kiev : Fact, 2004. 106 p.
10. Mirsayapov Ilizar T., Nurieva D. M., Koroleva I. V. Reseches of a housing complex construction influence on the ravine «Galeevskiy» in Kazan to the settlements and technical condition of surrounding existing buildings – Engineering and geotechnical researches, design and construction subgrade, foundations and underground structures / SPGASU. Spb, 2017. P. 37–41.

УДК 624.154.001.8
Мирсаяпов Илизар Талгатович
доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
Шакиров Марат Илдусович
ассистент
E-mail: jklnumb@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Расчет осадки основания комбинированных плитно-свайных фундаментов при циклическом нагружении

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработка метода расчета осадки комбинированного плитно-свайного фундамента, учитывающего влияние многократно повторяющихся циклических нагружений в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

Результаты. Разработан метод расчета осадки основания плитно-свайного фундамента, учитывающий сложное напряженно-деформированное состояние его элементов при циклическом нагружении.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что усовершенствованный метод расчета осадок плитно-свайных фундаментов при действии циклической нагрузки позволяет повысить надежность, расчетную несущую способность, уменьшить осадку, и вследствие этого получить более выгодные проектные решения при возведении фундаментов данного типа.

Ключевые слова: циклические нагрузки, плитно-свайный фундамент, межсвайное пространство, слабый грунт, осадки основания, усилия, деформации, напряжения.

Ведение

В современном мире, уплотняющаяся застройка городов, сформировала тренд к возведению зданий и сооружений повышенной этажности и освоению участков со слабыми физико-механическими характеристиками грунтов, ранее непригодных для строительства. В таких случаях применение комбинированных плитно-свайных фундаментов является одним из наиболее эффективных способов для повышения несущей способности и уменьшения осадки основания фундаментов зданий и сооружений [1-7].

Исходя из этого, возникает необходимость разработки метода расчета осадки и несущей способности комбинированных плитно-свайных фундаментов, учитывающее возникающее сложное напряженно-деформированное состояние между элементами фундамента и грунтового основания в процессе циклического нагружения.

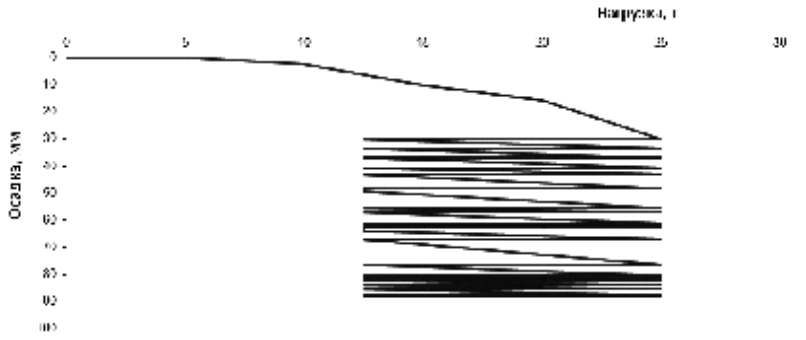
Существующие методы расчета осадки основания и несущей способности плитно-свайных фундаментов в основном разработаны для кратковременных статических нагружений. При этом влияние циклических нагружений на плитно-свайные фундаменты в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений малоизучено.

Экспериментальные исследования

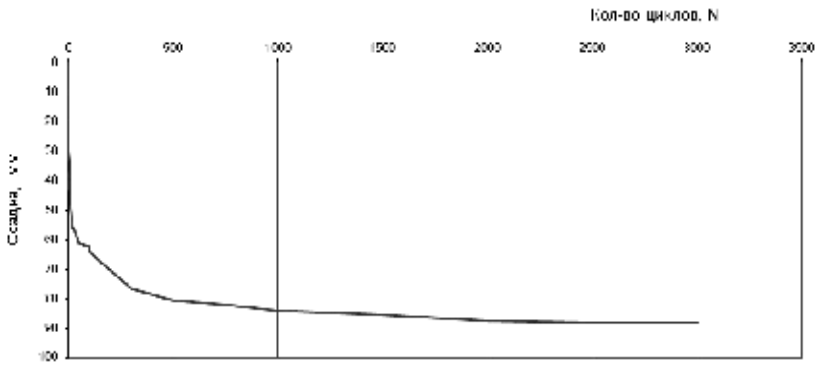
Проведенные экспериментальные исследования позволили установить основные закономерности изменения усилий и деформаций в системе «плитный ростверк – грунт межсвайного пространства – грунтовое основание».

При проведении исследований увеличение осадки основания при действии циклических нагружений наблюдалось на всем протяжении испытаний. На приведенных графиках осадки S от нагрузки F и осадки S от количества циклов N, наблюдается интенсивное развитие осадок в течение первых 500 циклов циклических нагружений, после чего рост осадки существенно уменьшился. Анализ изменения осадки основания показывает,

что после различного количества циклов нагружения увеличение осадки происходит за счет увеличения их остаточной части (рис. 1а). При этом в течение одного цикла величина осадки меняется незначительно. Однако, по мере увеличения количества циклов нагружения, во время испытаний зафиксированы изменения этих («упругих») осадок. Эти осадки в течение первых 20-50 циклов несколько уменьшаются. Снижение значения «упругих» осадок обуславливается тем, что за счет уменьшения объема пор происходит уплотнение грунта, которое по скорости развития опережает уменьшение сдвиговых деформаций, модуль сдвига между сваями и грунтом межсвайного пространства.



а)



б)

Рис. 1. Развитие осадки фундамента (иллюстрация авторов):
а) осадка от нагрузки при циклическом; б) осадка от количества циклов нагружения

Из результатов экспериментальных исследований видно, что в начальный период циклических нагружений происходит наибольшее уплотнение грунта, далее «упругие» осадки оснований начинают увеличиваться уже после первых 50-100 циклов нагружений. В случае если предельного состояния основания не достигается, к моменту 1000 циклов нагружения наступает относительная стабилизация (рис. 1а).

Осадки основания изменяются в процессе циклических нагружений, подобно тому, как изменяются деформации грунта межсвайного пространства. В то же время увеличение осадок основания по сравнению с первым циклом нагружения может составлять до 30 %.

На рис. 2 показаны изменения усилий в сваях. По мере увеличения количества циклов увеличиваются усилия в сваях в связи с тем, что происходит перераспределения деформаций и напряжений из грунта межсвайного пространства в сваи. Необходимо отметить, что наибольшие усилия возникают в рядовых и угловых сваях, а наименьшие – в центральных. Объясняется это тем, что в средней зоне условного фундамента, центральные сваи обжимает наиболее уплотненный грунт, а угловые и рядовые сваи взаимодействуют с участками менее уплотненного грунта за пределами плиты ростверка.

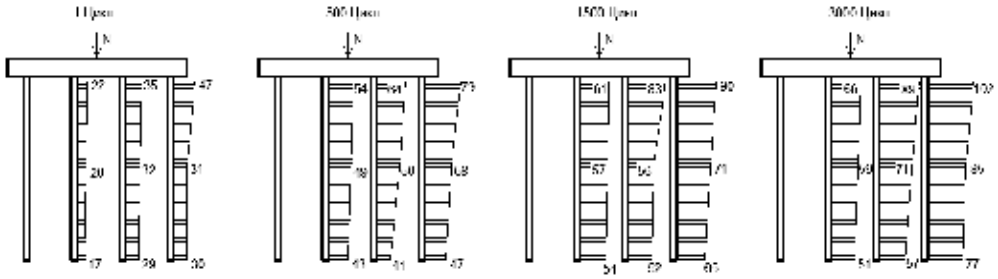


Рис. 2. Усилия в сваях после различного количества циклов, Н (P_{min}=12,5 т, P_{max}=25 т) (иллюстрация авторов)

При циклическом нагружении плитно-свайного фундамента деформации в грунте межсвайного пространства уменьшаются во всем протяжении испытания (рис. 3). Таким образом, существенное уменьшение общих деформаций наблюдается под плитной частью плитно-свайного фундамента (до 2-х раз).

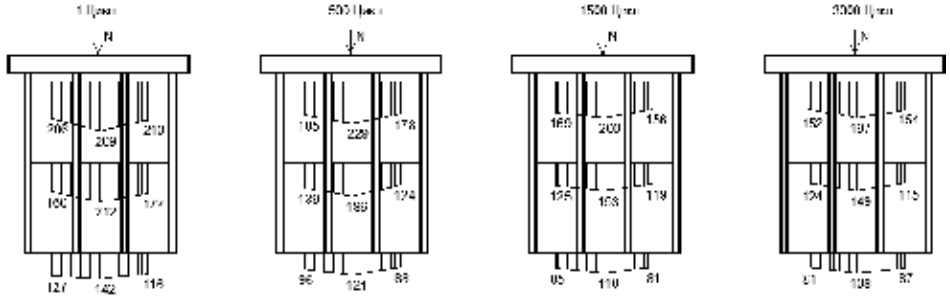
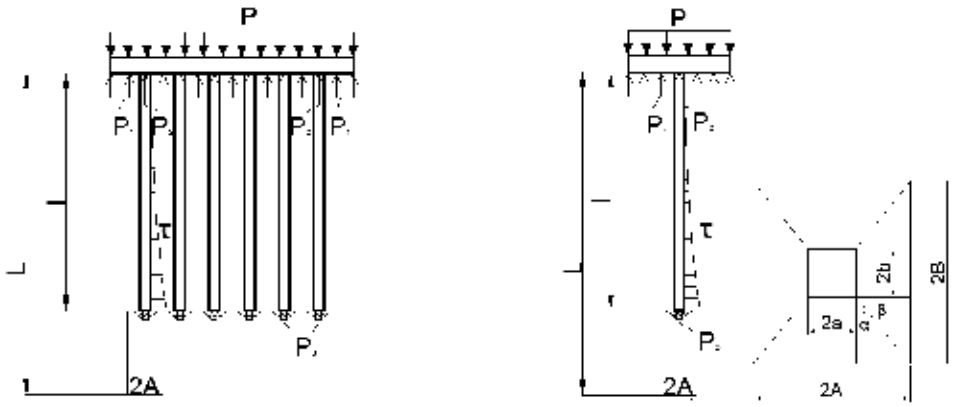


Рис. 3. Развитие деформаций грунта межсвайного пространства при различных количествах циклов, кПа (P_{min}=12,5 т, P_{max}=25 т) (иллюстрация авторов)

Для аналитического описания влияния деформаций виброползучести грунта на увеличение осадок плитно-свайного фундамента определяются дополнительные напряжения в грунте и в сваях [8].

Принята расчетная схема, которая состоит из сваи, окружающего ее грунта и части плитного ростверка, приходящуюся на одну сваю. Поведение основных компонентов напряженно-деформированного состояния такой ячейки будет соответствовать поведению сваи в составе плитно-свайного фундамента (рис. 4 а-б).



а) б)

Рис. 4. а) Схема взаимодействия плитно-свайного фундамента с грунтовым основанием; б) Схема взаимодействия одиночной сваи с однородным массивом грунта 2А×2В (иллюстрация авторов)

Размеры ячейки – *2A×2B×L*, размеры сваи – *2a×2b×l.*

Для решения задачи используем систему уравнений равновесия сил (1) необходимых для определения 4-х неизвестных – p_1, p_2, p_3 и τ_0:

$$\begin{cases} p \cdot AB = p_2(N) \cdot ab + p_1(N)(AB - ab) \\ p_2(N) \cdot ab = p_3(N) \cdot ab - 4(a+b) \cdot l \cdot \dfrac{\tau_0(N)}{\alpha} \cdot e^{-\alpha l} + (a+b) \cdot l \cdot \dfrac{\tau_0(N)}{\alpha} \\ \dfrac{p_1(N) \cdot \beta_{gr} \cdot L}{E_{gr}(N)} \left(1 - \dfrac{l}{L}\right) + \dfrac{k_1 \cdot \tau_0(N) \cdot (A-a)}{3G_{gr}(N)} + \dfrac{k_2 \cdot \tau_0(N) \cdot (B-b)}{3G_{gr}(N)} = \dfrac{\omega \cdot a \cdot p_3(N) \cdot (1 - v_{gr}) \cdot k(l)}{G_{gr}(N)} \\ \dfrac{p_1(N) \cdot \beta_{gr} \cdot L}{E_{gr}(N)} + \dfrac{k_1 \cdot \tau_0(N) \cdot e^{-\alpha l} \cdot (A-a)}{3G_{gr}(N)} + \dfrac{k_2 \cdot \tau_0(N) \cdot e^{-\alpha l} \cdot (B-b)}{3G_{gr}(N)} = \dfrac{\tau_0(N)(a+b)l}{ab\alpha \cdot E_p} + \dfrac{\tau_0(N)(a+b)e^{-\alpha l}}{ab\alpha^2 \cdot E_p} + \\ \dfrac{p_3(N) \cdot l}{E_p} + \dfrac{\omega \cdot a \cdot p_3(N) \cdot (1 - v_{gr}) \cdot k(l)}{G_{gr}(N)} - \dfrac{\tau_0(N)(a+b)}{ab\alpha^2 \cdot E_p} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь

$$p_1(N) = \sigma_{gr1}^{\max}(N) - \sigma_{gr}(N), \quad (2)$$

$$p_2(N) = \sigma_p^{\max}(N) + \sigma_p(N), \quad (3)$$

$$p_3(N) = \sigma_{gr3}^{\max}(N) - \sigma_{gr}(N), \quad (4)$$

$$\tau(N) = \tau_0(N) \cdot e^{-\alpha z}, \quad (5)$$

$$\tau(z) = \tau_0 \cdot e^{-\alpha z}, \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{5}{l}. \quad (7)$$

Зоны предельного равновесия определяются точкой пересечения эпюры мобилизованного касательного напряжения *(τ(N))* с эпюрой предельного касательного напряжения (рис. 5), при этом учитывается жесткость материала сваи:

$$\tau^*(z) = \gamma \cdot z \cdot tg\varphi + c(N), \quad (8)$$

где, *c(N)* – удельное сцепление грунта при циклическом нагружении [9]:

$$C(N) = C \cdot m(t_1\tau_1) \cdot \lambda(t_1\tau_1) \cdot \sqrt{\frac{k(\tau_1)}{k(t)} + \frac{1}{1 + k(\tau_1)} \cdot c(t_1\tau)} \cdot \quad (9)$$

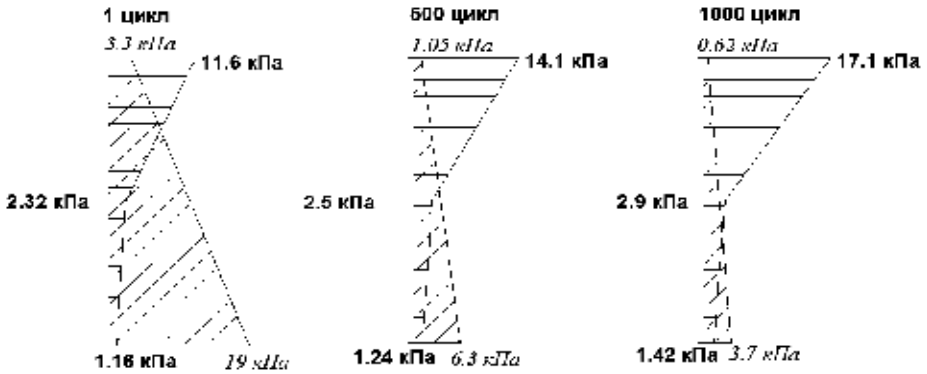


Рис. 5. Эпюры предельного касательного напряжения
и мобилизованного касательного напряжения по мере увеличения количества циклов
(иллюстрация авторов)

В случае увеличения длины сваи, увеличивается ее площадь боковой поверхности и меняется доля нагрузки приходящаяся на уровень пяты сваи.

Напряжения в грунте под ростверком определяются по формуле:

$$p_1(N) = \frac{p \cdot AB - p_2(N) \cdot ab}{(AB - ab)} \cdot \quad (10)$$

Напряжения верхней плоскости оголовка в свае представляются в виде:

$$p_2(N)=\frac{P\cdot G_{sp}(N)\cdot AB(AB-ab)\cdot L\cdot\beta_{gr}\left(1-\frac{l}{L}\right)+0{,}33\cdot\tau_0(N)\cdot E_{gr}(N)\cdot(A-a)(AB-ab)\cdot k_1+0{,}33\cdot\tau_0(N)\cdot E_{gr}(B-b)(AB-ab)\cdot k_2-}{a\cdot\omega\cdot(1-\nu_{gr})\cdot k(l)\cdot(AB-ab)\cdot E_{gr}(N)+}$$
$$\frac{-4\cdot\frac{\tau_0(N)}{\alpha}\cdot E_{gr}(N)\cdot l(AB-ab)\cdot\omega(1-\nu_{gr})\cdot k(l)+\frac{\tau_0(N)}{\alpha}\cdot E_{gr}(N)\cdot\frac{a+b}{b}\cdot l(AB-ab)\cdot e^{-\alpha l}\cdot\omega(1-\nu_{gr})\cdot k(l)}{+ab\cdot\beta_{gr}\cdot L\cdot\left(1-\frac{l}{L}\right)\cdot G_{gr}(N)} \quad (11)$$

где $G=\frac{E}{2\cdot(1+\nu)}$ – модуль сдвига грунта.

Напряжения, возникающие под нижним концом сваи, можно вычислить по формуле:

$$p_3(N)=\frac{p_2(N)\cdot 4ab+4(a+b)\cdot l\cdot\frac{\tau_0(N)}{\alpha}-4(a+b)\cdot l\cdot\frac{\tau_0(N)}{\alpha}\cdot e^{-\alpha l}}{4ab}. \quad (12)$$

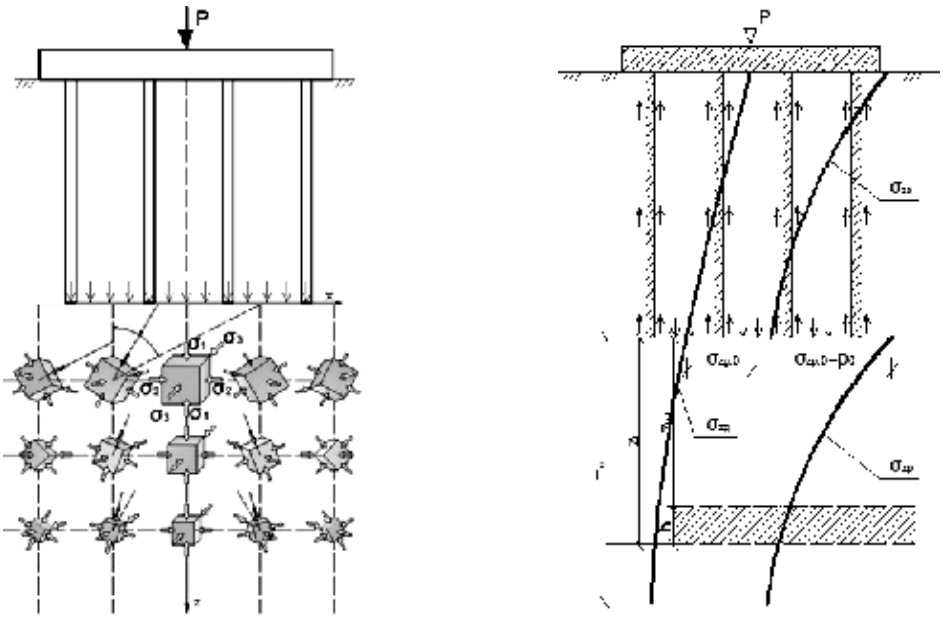
Касательное напряжение по боковой поверхности свай $\tau_0(N)$ можно определить исходя из выражения:

$$\tau_0(N)=\frac{a\cdot b(p_3(N)-p_2(N))}{(a+b)\cdot l\cdot\frac{1}{\alpha}\cdot(4e^{-\alpha l}-1)}. \quad (13)$$

После определения напряжений вычисляются осадки. Осадка плитно-свайного фундамента вычисляется по формуле:

$$S(N)=S_{ef}(N)+\Delta S_p(N)+\Delta S_c(N). \quad (14)$$

Осадка условного фундамента вычисляется исходя из расчетной схемы (рис. 6).



а) б)

Рис. 6. а) Схема напряженного состояния основания условного фундамента при циклическом нагружении; б) Расчетная схема к определению осадки основания фундамента при циклическом нагружении (иллюстрация авторов)

При этом принимается объемное напряженное состояние грунта основания условного фундамента (рис. 6а). Разбивая сжимаемую толщу основания на слои, для каждого слоя, исходя из (рис. 6 а-б), определяем деформации, соответствующие значению вертикального давления, а затем значения деформации в пределах сжимаемой толщи суммируются.

Осадку условного фундамента при циклическом нагружении с учетом объемного напряженно-деформированного состояния грунта можно определить по формуле:

$$S(N)=\sum_{i=1}^{n}\left[\varepsilon_{z,i}(t,t_0)\right]\cdot h_i, \quad (15)$$

где $\varepsilon_{z,i}(t,\tau)$ – приращение осевой деформации i-го слоя при действии циклической нагрузки t [10];

n – количество слоев сжимаемой толщи грунтового основания [11];

t – время, соответствующее моменту наблюдения и количеству циклов нагружения N;

t_0 – время приложения нагрузки соответствующее первому циклу;

h_i – мощность i-го слоя.

Величина дополнительной осадки за счет сжатия ствола сваи и за счет продавливания сваи на подошву условного фундамента зависит от выполнения условий (16)-(18). Эти осадки происходят скачками по мере нарушения условий:

$$\tau(N)\leq\tau^{*}(N), \quad (16)$$

$$p_2(N)\leq\sigma_{1u}(N), \quad (17)$$

$$p_3(N)\leq\sigma_{1u}(N). \quad (18)$$

Функция $\sigma_{1u}(N)$ принимается:

$$\sigma_{1u}(N)=4[\sigma_v(t,t_1,N)\cdot A_{sh}\cdot\cos\alpha_1\cdot(t,t_1,N)+\tau_v\cdot(t,t_1,N)\cdot A_{sh}\cdot\sin\alpha_1\cdot(t,t_1,N)]. \quad (19)$$

Осадка за счет сжатия ствола сваи определяется по формуле:

$$\Delta S_c(N)=\frac{\sigma_c^{\max}(N_1)(l-a)}{E_b(N_1)}+\frac{\varepsilon_{pl}^{гр}(N)\cdot(l-a)}{\left[1+\frac{E_b(N)}{E_{гр}(N)}\cdot\frac{A_{св}}{A_{гр}}\right]}\cdot \quad (20)$$

Величина дополнительной осадки ΔS_p за счет продавливания сваи определяется по формуле:

$$\Delta S_p(N)=a_{св}\left[\frac{P_3(N)}{G_v(N)}-\left(\frac{P_3(N)+2P_3(N)\cos B}{3}\right)\frac{3K_v(N)-G_v(N)}{3K_v(N)-G_v(N)}\right], \quad (21)$$

$E_b(N)$ – модуль деформации бетона сваи при циклических нагружениях;

$E_{гр}(N)$ – модуль деформации грунта при циклических нагружениях;

$\varepsilon_{ре}^{гр}(N)$ – деформации виброползучести грунта;

$K_v(N)$ – объемный модуль деформации грунта при циклическом нагружении;

$G(N)$ – модуль сдвига грунта при циклическом нагружении;

$\sigma_i^{\max}(N)$ – максимальные напряжения в сечении сваи;

$a_{св}$ – размер поперечного сечения сваи.

Заключение

Усовершенствованные методы расчета осадки основания и несущей способности, учитывают изменение напряженно-деформированного состояния плитно-свайного фундамента, увеличение деформаций, напряжений и усилий, а также их перераспределение между грунтом и сваями при циклическом нагружении. Определение влияния циклического нагружения на плитно-свайные фундаменты в будущем позволит получить более выгодные проектные решения при возведении зданий и сооружений на фундаментах данного типа.

Список библиографических ссылок

1. Мирсаяпов Илизар Т., Шакиров М. И. Плитно-свайные фундаменты при циклическом нагружении : сб. ст. Геотехника Беларуси: Наука и практика – Международной научно-технической конференции / БНТУ. Минск, 2013. С. 314–320.
2. Katzenbach R. Soil-structure-interaction of Tunnels and Superstructures During Construction and Service Time // Procedia Engineering. 2013. Vol. 57. P. 35–44.
3. Мирсаяпов Илизар Т., Шакиров М. И. Экспериментальные исследования несущей способности и осадок оснований плитно-свайных фундаментов при циклическом

нагружении : сб. ст. Перспективные направления развитии теории и практики в реологии и в механике грунтов – XIV Международного симпозиума по реологии / КГАСУ. Казань, 2014. С. 68–74.
4. Мирсаяпов Илизар Т., Шакиров М. И. Несущая способность и осадки моделей плитно-свайных фундаментов при циклическом нагружении : сб. ст. Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании – Международной научной конференции / МГСУ. М. 2012. С. 528–531.
5. Мирсаяпов Илизар Т., Шакиров М. И. Исследование влияния циклической нагрузки на модели комбинированного плитно-свайного фундамента : сб. ст. Строительство – формирование среды жизнедеятельности – XVII Международной научной конференции / МГСУ. М., 2014. С. 423–429.
6. Мирсаяпов Илизар Т., Королева И. В. Прочность и деформируемость глинистых грунтов при режимном пространственном напряженном состоянии с учетом трещинообразования // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 1. С. 16–23.
7. Шакиров И. Ф., Гайфуллина В. А. Исследование влияния добавок на инъекционные свойства цементных растворов, применяемых при укреплении грунтов напорной цементацией : сб. ст. Технические науки – от теории к практике – XXI Международной научно-практической конференции / СПбГАСУ. СПб. 2017. С. 37–41.
8. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading : dig. of art. 1 st International conference on energy geotechnics / ICEGT. Kiel. Germany, 2016. P. 423–428.
9. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Behaviour of pile-plate foundations under cyclic loading : dig. of art. Baltic Piling Days – Proceedings of the baltic piling days conference / Estonian Geotechnical Society ISSMGE. Tallin, 2012. P. 31–34.
10. Mirsayapov Ilizar T., Sabirzyanov D. D. Bearing capacity of foundations base under combined alternating long-term static and cyclic loading : dig. of art. Materials Science and Engineering 365 – IOP Conferense Series / M. 2018. P. 1–10.
11. Сиразиев Л. Ф. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния слоистых грунтовых оснований под центром штампа при кратковременных испытаниях // Инновации и инвестиции. 2018. № 11. С. 225–228.

Mirsayapov Ilizar Talgatovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
Shakirov Marat Ildusovich
assistant
E-mail: jklnumb@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Combined plate-pile foundations settlement calculation during cyclic loading

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to develop a method for calculating the settlement of a combined plate-pile foundation, taking into account the effect of repeatedly repeated cyclic loads in the process of construction and operation of buildings and structures.

Results. A method for calculating the settlement of the basement of a slab-pile foundation has been developed, taking into account the complex stress-strain state of its elements under cyclic loading.

Conclusions. An improved method for calculating the sediment of slab-pile foundations under the action of a cyclic load allows to increase reliability, calculated bearing capacity, reduce settlement, and as a result to obtain more cost-effective solutions when designing foundations of this type.

Keywords: cyclic loads, plate-pile foundation, between-pile space, weak soil, base settlement, efforts, deformations, stress.

References

1. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Plate-pile foundations under cyclic loading : dig. of art. Geotechnics Belarus: Science and Practice – International scientific-technical conference / BNTU. Minsk, 2013. P. 314–320.
2. Katzenbach R. et al. Soil-structure-interaction of Tunnels and Superstructures During Construction and Service Time // Procedia Engineering. 2013. Vol. 57. P. 35–44.
3. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Experimental study of bearing capacity and the settlement of bases raft-pile foundations under cyclic loading : dig. of art. Perspective development directions of the theory and practice in rheology and soil mechanics – Proceedings of the XIV International rheology Symposium / KGASU. Kazan, 2014. P. 68–74.
4. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement patterns raft-pile foundations under cyclic loading : dig. of art. Integration, partnership and innovation in building science and education – International scientific conference / MGSU. M. 2012. P. 528–531.
5. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Research of the cyclic loading effect on model combined raft-pile foundation construction : dig. of art. Forming environment of life – XVII International scientific conference / MGSU. M., 2014. P. 423–429.
6. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. The strength and deformability of clay soils under the regime spatial stress state in view of cracking // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2016. № 1. P. 16–23.
7. Shakirov I. F., Gayfullina V. A. Researches of the effect from additives on the cement mortars injection properties used in strengthening soil pressure cementation : dig. of art. Technical sciences – from theory to practice – XXI international scientific-practical conference / SPbGASU. SPb., 2017. P. 37–41.
8. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading : dig. of art. 1 st International conference on energy geotechnics / ICEGT. Kiel. Germany, 2016. P. 423–428.
9. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Behaviour of pile-plate foundations under cyclic loading : dig. of art. Baltic Piling Days – Proceedings of the baltic piling days conference / Estonian Geotechnical Society ISSMGE. Tallin, 2012. P. 31–34.
10. Mirsayapov Ilizar T., Sabirzyanov D. D. Bearing capacity of foundations base under combined alternating long-term static and cyclic loading : dig. of art. Materials Science and Engineering 365 – IOP Conferense Series. M., 2018. P. 1–10.
11. Siraziev L. F. Experimental studies of the stress-strain state of layered soil bases under the center of the stamp during short-term tests // Innovatsii i investitsii. 2018. № 11. P. 225–228.

УДК 624.131.54
Хасанов Рубис Раисович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: rubis.hasanov@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Галеев Рустам Ринатович
инженер II категории
E-mail: rusgal1973@gmail.com
АО «Казанский Гипроииавиапром»
Адрес организации: 420127, Россия, г. Казань, ул. Дементьева, д. 1

Влияние режима сочетания циклического и статического нагружений на деформации и физико-механические характеристики водонасыщенных суглинистых грунтов

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является изучение влияния режима сочетания циклического и статического нагружений на деформации водонасыщенных суглинков, а также описание изменений деформативных свойств грунта после режимного циклического воздействия.

Для достижения поставленной цели было выполнено следующее:

- проведение экспериментальных исследований деформации глинистого грунта в условиях сочетания циклического и статического нагружений с фиксацией показаний индикаторов деформаций в непрерывном режиме;
- послойное определение деформативных характеристик грунтов под штампом и за его пределами в лабораторных условиях до и после проведения испытания;
- анализ полученных результатов проведённых экспериментальных исследований.

Результаты. В результате проведенных исследований выявлены некоторые закономерности деформирования и изменения характеристик водонасыщенных суглинистых грунтов при сочетании статического и циклического нагружений.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что установлено, что даже непродолжительное, по сравнению со статической, воздействие циклической нагрузки способно привести к ощутимому росту деформации грунтового основания и ее скорости.

Ключевые слова: физико-механические характеристики, объемный загрузочный лоток, статическое нагружение, циклическое нагружение, деформация грунта, скорость деформации.

Введение

Опыт строительства и эксплуатации сооружений и высотных зданий показывает, что воздействие циклических нагрузок может привести к накоплению дополнительных необратимых пластических деформаций в грунтах оснований и, в конечном счете, к дополнительным осадкам и кренам фундаментов сооружений [1]. Проблемы, в особенности, возникают, когда грунтовые основания представлены водонасыщенными глинистыми грунтами [2-5]. Зачастую основания фундаментов при эксплуатации сооружения наряду со статическими испытывают и циклическое нагружение, возникающее, к примеру, от воздействия нагрузок из-за скопления людей, работы массивного оборудования, движения транспорта и т.д. – эти нагрузки не постоянные, а периодические [6-10]. При этом режим нагружения, зависящий от доли статической и циклической составляющих, их амплитуды и т.п., может быть совершенно различным. На взгляд авторов, довольно распространенным сценарием нагружения представляется режим, схема которого приведена на рис. 1. Т.е. предполагается, что есть некая средняя статическая нагрузка на основание, действующая продолжительное время, включающая в себя постоянную и часть временных нагрузок, и периодически возникающая циклическая нагрузка, состоящая из временных нагрузок, которые могут как исчезать совсем, так и достигать максимальных значений.

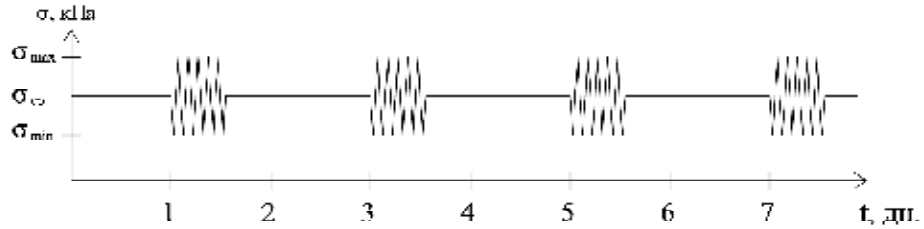
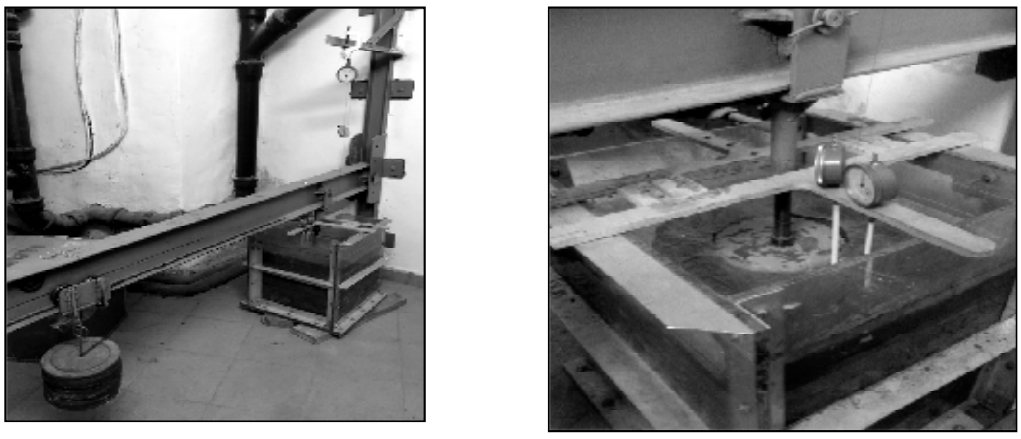


Рис. 1. Принципиальная схема режима нагружения грунта (иллюстрация авторов)

Описание грунта и методики экспериментальных исследований

В целях экспериментального изучения деформативности оснований, сложенных водонасыщенными суглинистыми грунтами, при воздействии на них циклических нагрузок, возникающих с определенной периодичностью, и установления закономерностей их поведения в лаборатории кафедры оснований и фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии были проведены испытания вышеупомянутых грунтов в объемном лотке с жесткими стенками при внутренних размерах 400×400×400 мм.

Нагрузка на испытуемый грунт прикладывалась через круглый жесткий штамп диаметром 160 мм, напряжения в грунте, под которым во время испытания изменялись от $\sigma_{min} = 100$ кПа до $\sigma_{max} = 180$ кПа. Продолжительность одного цикла нагружения (нагрузка-разгрузка) принималась равной 10 секундам, что соответствует частоте нагружения 0,1 Гц. Уменьшение и увеличение давления под штампом осуществлялось путём перемещения тележки с грузом вдоль загрузочного рычага (рис. 2а).



а) б)

Рис. 2. Экспериментальная установка для проведения опыта (иллюстрация авторов):
а) общий вид установки; б) общий вид индикаторов, установленных в гнезда рамы

В процессе эксперимента проведена серия из трех испытаний, режим нагружения грунтов в которых включал в себя этапы испытаний, состоящие из порядка 300 циклов повторного нагружения в течение 50 минут с последующей выдержкой под средним статическим давлением $\sigma_{ср}$ в течение 2-х суток (рис. 1).

Испытуемый грунт – суглинок нарушенной структуры со следующими физико-механическими характеристиками: $\rho = 1{,}9$ г/см^3; $W_L = 32$ %; $W_P = 16$ %; $W = 24$ %, $I_p = 16$ %; $I_L = 0{,}26$; $S_r = 0{,}85$; $E = 4{,}4$ МПа. Грунт заданных параметров изготавливался в соответствии с приложением «В» ГОСТ 30416-2012 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения». Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости».

Для измерения абсолютных деформаций осадки штампа и окружающего грунта применялись индикаторы часового типа ИЧ-10 МН и прогибомер с ценой деления 0,01 мм. Индикаторы, установленные в гнезда специальной рамы, фиксировали

деформации поверхности грунта на расстоянии 20 и 70 мм от границ круглого штампа (рис. 2б). Прогибомер фиксировал осадку штампа посредством стальной нити, закрепленной на его поверхности. Показания индикаторов для последующей камеральной обработки записывались на видеокамеру в непрерывном режиме как при нагружении, так и при разгрузке штампа.

Испытания деформаций грунта в объемном лотке проводились в следующей последовательности:

1. Статическое нагружение испытуемого грунта до достижения давления под штампом среднего значения $\sigma_{ср} = 140$ кПа с фиксацией показаний индикаторов и прогибомера в течение суток до момента начала циклического нагружения.

2. Циклическое нагружение испытуемого грунта с нижеследующими параметрами: максимальное давление под штампом $\sigma_{max} = 180$ кПа; амплитуда цикла напряжений 80 кПа; частота приложения нагрузки $\omega = 0{,}1$ Гц; количество циклов нагружения – $N = 300$.

3. Повтор чередования этапов статического нагружения в течение двух суток и циклического нагружения в количестве 300 циклов в течение 50 минут до стабилизации деформаций осадки штампа.

4. Снятие нагрузки и послойное определение физико-механических характеристик исследуемого грунта после испытания.

Деформации грунта при режимном нагружении

Всего в каждом испытании было проведено по 4 этапа чередования статических и циклических нагрузок. По результатам экспериментальных исследований строились графики абсолютных деформаций осадки штампа во времени $S = f(t)$ (рис. 3).

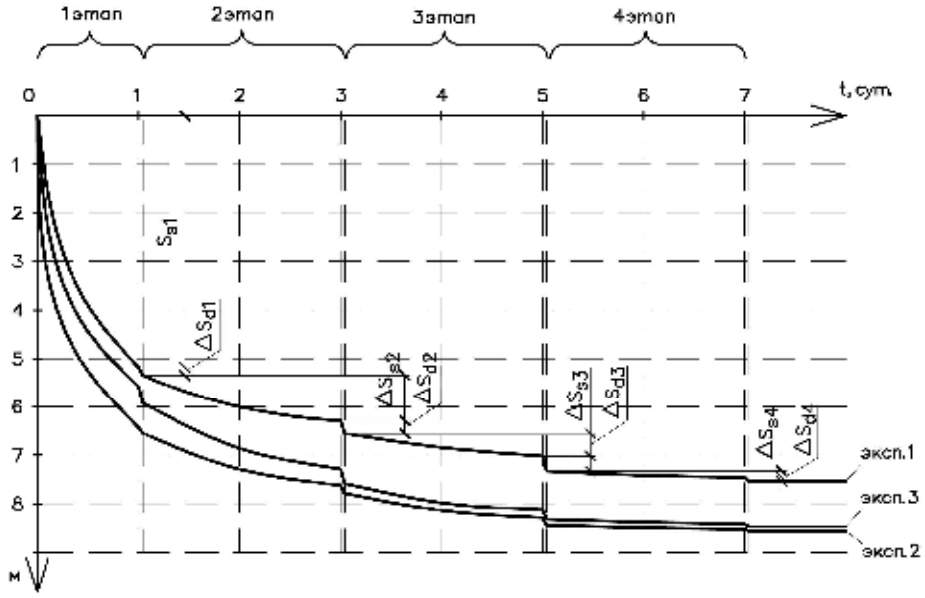


Рис. 3. График развития осадки грунта под штампом во времени (иллюстрация авторов)

Поэтапный анализ графиков осадки грунта под штампом, приведенных на рис. 3 для всех 3 испытаний, показал следующее:

- на 1 этапе статического нагружения продолжительностью в 24 часа осадка грунта под штампом составила $s_{s1} = 5{,}19…6{,}43$ мм (сред. 5,73 мм), скорость развития осадок при этом составила $V_{s1} = 0{,}22…0{,}27$ мм/ч (сред. 0,24 мм/ч). Последующий этап приложения циклических нагружений длительностью 50 минут (300 циклов) вызвал дополнительную осадку величиной $\Delta s_{d1} = 0{,}12…0{,}34$ мм (сред. 0,21 мм) при скорости развития осадок $V_{d1} = 0{,}19…0{,}408$ мм/ч (сред. 0,248 мм/ч). Таким образом, на 1 этапе скорость развития осадок от циклических нагружений была соизмерима со средней скоростью развития осадок от предшествующего статического нагружения.

- на 2 этапе выдержка под статической нагрузкой длительностью в 47 часов приводила к дополнительной осадке равной $\Delta s_{s2} = 0{,}94…1{,}37$ мм (сред. 1,13 мм), при этом

скорость развития осадок составила $V_{s2} = 0,02…0,029$ мм/ч (сред. 0,024 мм/ч), что в 10 раз меньше скорости осадки на 1 этапе. Приложение 2-го этапа циклических нагружений привело к развитию дополнительных осадок, равных $\Delta s_{d2} = 0,16…0,29$ мм (сред. 0,27 мм). Скорость развития осадок, равная $V_{d2} = 0,192…0,468$ мм/ч (сред. 0,327 мм/ч), на этот раз превысила скорость деформаций при статическом нагружении 2-го этапа в 13,6 раза.

- 3-й этап статического нагружения приводил к дополнительной осадке, равной $\Delta s_{s3} = 0,44…0,64$ мм (сред. 0,53 мм). Скорость развития осадок уменьшилась и составила $V_{s3} = 0,01…0,014$ мм/ч (сред. 0,011 мм/ч). 3-й этап циклических нагружений приводил к дополнительному развитию осадок под штампом, равных $\Delta s_{d3} = 0,13…0,2$ мм (сред. 0,16 мм), при скорости соответственно $V_{d3} = 0,156…0,24$ мм/ч (сред. 0,19 мм/ч).

- на последнем 4-м этапе статического нагружения по истечении 7 суток с момента начала загружения значение дополнительной осадки составило $\Delta s_{s4} = 0,08…0,13$ мм (сред. 0,103 мм), скорость развития осадок $V_{s4} = 0,003…0,0056$ мм/ч (сред. 0,0045 мм/ч), циклические нагружения привели к дополнительным осадкам в $\Delta s_{d4} = 0,04…0,08$ мм (сред. 0,06 мм) при скорости соответственно $V_{d3} = 0,048…0,096$ мм/ч (сред. 0,072 мм/ч). Стоит отметить, что на этом этапе испытания в промежутке между 1100 и 1200 циклами нагружения прирост деформаций осадок от циклического воздействия был равен нулю. Последующее статическое нагружение также не привело к развитию осадок, следовательно, произошла относительная стабилизация деформаций грунта.

После проведения всех 4-х этапов режимного нагружения общая осадка штампа составила 7,54…8,47 мм (средняя для всех испытаний 8,2 мм).

Закономерностью для всех этапов нагружения является то, что амплитуда упругих деформаций, восстанавливающихся при уменьшении давления внутри цикла, оставалась постоянной на всем протяжении испытания и составляла 0,04…0,06 мм.

Таким образом, при испытаниях скорость развития деформации осадки грунта при циклическом приложении нагрузки в разы превышала скорость развития деформации при статическом. По графику, представленному на рис. 4, также можно сделать вывод, что в процессе чередующихся статических и циклических нагружений деформации грунта носят затухающий характер, т. е. на всех этапах нагружения имеет место процесс затухающей ползучести.

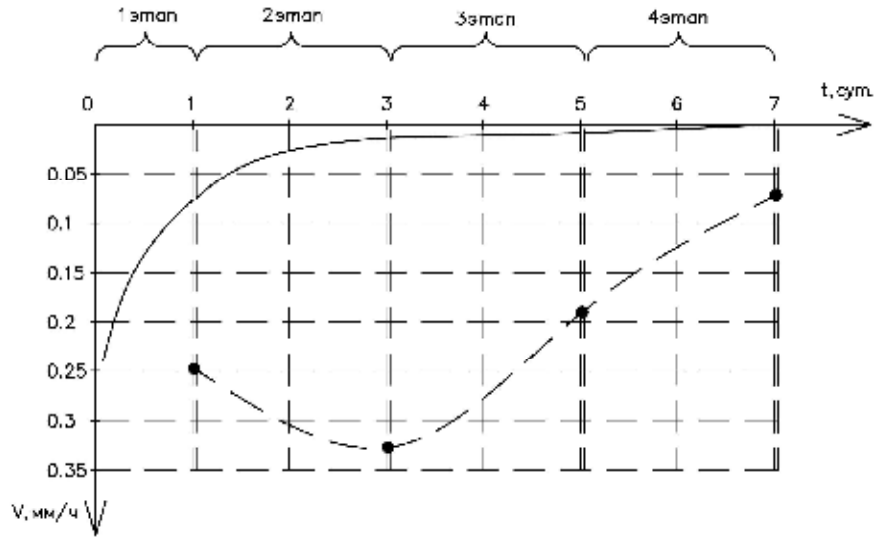


Рис. 4. Графики изменения скорости развития деформации осадки грунта во времени (иллюстрация авторов):
сплошной линией – при статическом приложении нагрузки; штриховой – при циклическом

Присущей для всех испытаний закономерностью, заслуживающей внимания, является то, что осадка штампа на 2-ом этапе циклического нагружения была больше, чем на 1-ом. Объяснение этому, по мнению авторов, можно найти, проанализировав график деформации поверхности грунта за пределами штампа в зависимости от количества циклов нагружения, построенный на основании показаний индикаторов

часового типа, приведенный на рис. 5. На основе анализа графика установлена следующая картина, характерная для всех испытаний:

- 1 этап статического нагружения приводит к осадке поверхности грунта за пределами штампа, о чем свидетельствуют возрастающие показания индикаторов часового типа, установленных в гнезда специальной рамы, фиксировавших деформации грунта на расстоянии 20 и 70 мм от его границ. Последующее циклическое нагружение на 1-ом этапе также приводит к увеличению деформации осадки поверхности грунта.

- на 2-ом этапе выдерживание штампа под статической нагрузкой уже, напротив, вызывает подъем поверхности грунта (показания индикаторов во время статического нагружения уменьшались), что можно объяснить завершением фазы уплотнения грунта под штампом и началом перехода в фазу сдвигов. Последующее циклическое нагружение на 2-ом этапе вызывает более интенсивный по сравнению с предшествующим статическим нагружением подъем поверхности грунта.

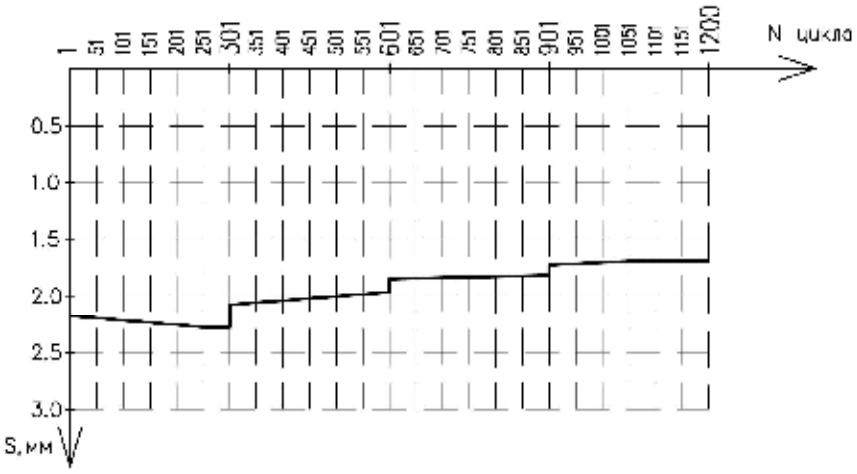


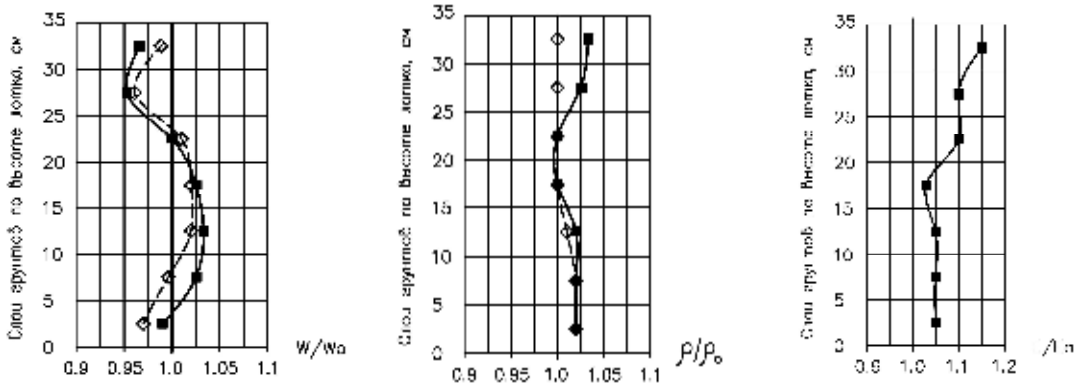
Рис. 5. Деформации поверхности грунта за пределами штампа по показаниям индикатора 1 (иллюстрация авторов)

Резюмируя, можно сказать, что циклическое нагружение на 2-ом этапе способствовало к переходу в фазу сдвигов грунта из-под подошвы штампа, вызывая, в свою очередь, более интенсивное по сравнению с 1-ым этапом циклического нагружения нарастание осадки штампа на 2-ом этапе (рис. 3).

Изменение физико-механических характеристик грунта при испытаниях

Кроме деформаций осадок исследованию подвергались также и физико-механические характеристики испытуемого грунта по слоям. Результаты испытаний в виде графического изображения изменения плотности, влажности и модуля деформации грунта по глубине лотка до и после испытания представлены на рис. 6.

На основании анализа результатов проведенных экспериментов (рис. 6) установлено, что влажность верхних слоев грунта под штампом уменьшилась при испытаниях на 3,4÷4,7 %, средних – увеличилась на 2,5÷3,3 %, влажность последнего нижнего слоя практически не изменилась. Влажность верхних слоев грунта, расположенных на расстоянии в 60 мм от границ штампа, по результатам всех проведенных экспериментов также уменьшилась в среднем на 1÷3,3 %, влажность нижних слоев увеличилась в среднем на 1÷2 %. Таким образом, миграция воды при испытаниях происходит, в основном, в средние слои грунта под штампом, а также в стороны, что, определенно, связано с уменьшением водопроницаемости образующегося под штампом уплотненного ядра, т. е. свободная вода, выдавливаясь из пор, мигрирует в менее уплотненные и более водопроницаемые зоны грунта. Стоит добавить, что увеличение влажности ускоряет снижение прочности при многократно повторяющихся нагружениях. Это объясняется ослаблением структурных связей и увеличением подвижности частиц по мере утолщения гидратных оболочек [2, 6, 7].



а) б) в)

Рис. 6. Графики относительного изменения влажности (а), плотности (б) и модуля деформации (в) грунта по глубине лотка до и после испытания (сплошной линией обозначены характеристики грунта по глубине по линии оси штампа, штриховой – за пределами штампа) (иллюстрация авторов)

Как видно из графика, приведенного на рис. 6б, плотность верхних слоев грунта после испытания увеличилась в среднем на 2,5 % по сравнению с исходным значением. При этом практически во всех экспериментах плотность грунта, залегающего в середине по высоте испытательного лотка, оставалась без изменений.

Модуль деформаций E, после испытания в верхних слоях, увеличился в среднем на 11 %; в нижних – на 5 %.

Развитие пластических деформаций грунта при испытаниях затухало в среднем ближе к 1100-му циклу «нагрузка-разгрузка», при этом максимальные абсолютные значения (амплитуда) упругих деформаций грунта внутри каждого цикла нагружения не превышали 0,06 мм.

Заключение

На основании анализа результатов, полученных при проведении экспериментальных исследований деформаций водонасыщенных суглинистых грунтов при чередующихся статических и циклических нагружениях в объемном лотке, можно сделать следующие основные выводы:

1. Количественный анализ графиков осадки позволяет сделать вывод, что циклическое нагружение, несмотря на непродолжительное воздействие (200 минут циклического нагружения против 9900 минут статического), приводит к ощутимому увеличению осадок, составляющих до 12 % от общей осадки.

2. Скорость развития деформации осадок грунта при циклическом нагружении может превосходить скорость при статическом нагружении до 10-15 раз.

3. Затухание деформаций водонасыщенных суглинистых грунтов при статическом нагружении происходит за более короткий промежуток времени, чем при циклических нагружениях, т. к. консолидация грунтов при циклических испытаниях за счет непродолжительного действия нагрузки в каждом цикле достигается гораздо дольше.

4. Скорость деформирования при циклических нагружениях зависит от параметров нагружения, вида и характеристик грунта. С увеличением количества циклов грунтовое основание приближается к упругому состоянию.

5. Статическое догружение после 1200 циклов повторных нагрузок не вызывает заметных дополнительных перемещений. Однако даже после выдержки основания под постоянной нагрузкой в течение определенного времени периодические циклические воздействия могут привести к дальнейшему увеличению деформаций.

6. Принимая во внимание качественную картину развития деформаций осадок штампа, полученную в эксперименте, и основываясь на принципе суперпозиции, для определения деформаций осадки грунта за заданный промежуток времени при

чередующихся статических и циклических нагружениях может быть предложена зависимость следующего вида:

$$S_{общ} = S_t + S_N,$$

где $S_{общ}$ – значение общей деформации осадки;
S_t – деформация осадки от статического нагружения;
S_N – деформация осадки от циклического нагружения.

Список библиографических ссылок

1. Кутергин В. Н., Манукин В. Б., Панков К. В., Кальбергенов Р. Г., Карпенко Ф. С. Оценка изменения прочности грунтов при циклических нагрузках, моделирующих воздействия штормовых волн на сооружение // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2015. № 5. С. 450–459.
2. Хасанов Р. Р., Смирнова А. Р. Экспериментальные исследования физических характеристик предварительно обжатых глинистых грунтов при замачивании // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12-5 (66). С. 178–182.
3. Сафин Д. Р., Груздева В. А. Исследование несущей способности слабых водонасыщенных глинистых грунтов, армированных вертикальными армирующими элементами : сб. ст. Международной научно-практической конференции – Методы проектирования и оптимизации технологических процессов / OMEGA SCIENCE. Уфа, 2017. С. 54–56.
4. Konovalov P. A., Bezvolev S. G. Analysis of results of consolidation tests of saturated clayey soils // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2005. Т. 42. № 3. P. 81–85.
5. Konovalov V. P., Bezvolev S. G., Konovalov P. A. Preconstruction consolidation of weak saturated clayey soils by reinforcing limestone drains // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2012. Т. 48. № 6. P. 256–265.
6. Деревянных А. В., Мирсаяпов Илизар Т. Прочность и деформативность глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия при циклическом нагружении // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 1. С. 153–159.
7. Панов С. И., Гольдин А. Л. Деформации глинистых грунтов при циклическом нагружении // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2016. Т. 280. С. 79–86.
8. Bensallam S., Bahi L., Alaoui M., Ejjaaouani H., Shakhirev V. The effect of surcharge pressure on the cyclic vertical deformations for expansive clayey soils in Morocco // Geosciences Journal. 2014. Т. 18. № 1. P. 81–87.
9. Сиразиев Л. Ф. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния слоистых грунтовых оснований под центром штампа при кратковременных испытаниях // Инновации и инвестиции. 2018. № 11. С. 225–228.
10. Азберген М. И., Инкарбек Н. М. Закономерности деформирования грунтов с учетом частоты приложения циклической нагрузки // Наука и Мир. 2016. Т. 1. № 1 (29). С. 42–45.

Khasanov Rubis Raisovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: rubis.hasanov@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Galeev Rustam Rinatovich
engineer of the second category
E-mail: rusgal1973@gmail.com
JSC «Kazan Giproniiaviaprom»
The organization address: 420127, Russia, Kazan, Dementyeva st., 1

The influence of the combination of cyclic and static loading on deformations and physico-mechanical characteristics of water-saturated loamy soils

Abstract

Problem statement. The aim of the work is to study the influence of the combination of cyclic and static loading on the deformation of water-saturated loams, as well as a description of the changes in the deformative properties of the soil after cyclic exposure.

To achieve this goal, the following was completed:

– carrying out experimental studies of clay soil deformation under conditions of a combination of cyclic and static loading with fixing the readings of strain indicators in a continuous mode;

– layered determination of the deformation characteristics of soils under the stamp and beyond in laboratory conditions before and after the test;

– analysis of the results of experimental studies.

Results. As a result of the studies, some patterns of deformation and changes in the characteristics of water-saturated loamy soils with a combination of static and cyclic loading were revealed.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that it has been established that even a short cyclic load compared with a static one can lead to a noticeable increase in the deformation of the soil base and its speed.

Keywords: physical-mechanical features, volume loading tray, static loading, cyclic loading, soil deformation, strain rate.

References

1. Kutergin V. N., Manukin V. B., Pankov K. V., Kal'bergenov R. G., Karpenko F. S. Estimation of soil degradation under prolonged cyclic loading, modeling the storm wave effects on a structure // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. 2015. № 5. P. 450–459.
2. Khasanov R. R., Smirnova A. R. Experimental studies of physical characteristics of precompressed clay soils with soaking // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2017. № 12-5 (66). P. 178–182.
3. Safin D. R., Gruzdeva V. A. A study of the bearing capacity of weak water-saturated clayey soils reinforced by vertical reinforcing elements : dig. art. of International scientific-technical conference. «Methods for the design and optimization of technological processes» / OMEGA SCIENCE. Ufa, 2017. P. 54–56.
4. Konovalov P. A., Bezvolev S. G. Analysis of results of consolidation tests of saturated clayey soils // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2005. V. 42. № 3. P. 81–85.
5. Konovalov V. P., Bezvolev S. G., Konovalov P. A. Preconstruction consolidation of weak saturated clayey soils by reinforcing limestone drains // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2012. V. 48. № 6. P. 256–265.
6. Derevyannykh A. V., Mirsayapov Ilizar T. The strength and deformability of clay soils under triaxial compression under cyclic loading // Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. 2016. V. 1. P. 153–159.
7. Panov S. I., Goldin A. L. Deformation of clay soils under cyclic loading // Izvestiya Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.Ye. Vedeneyeva 2016. V. 280. P. 79–86.
8. Bensallam S., Bahi L., Alaoui M., Ejjaaouani H., Shakhirev V. The effect of surcharge pressure on the cyclic vertical deformations for expansive clayey soils in Morocco // Geosciences Journal. 2014. V. 18. № 1. P. 81–87.
9. Siraziev L. F. The stressed-stained state experimental researches of multilayered soilbases under the stamp center at short term tests // Innovatsii i investitsii. 2018. № 11. P. 225–228.
10. Azbergen M. I., Inkarbek N. M. Regularities of soil deformation taking into account the frequency of cyclic loading // Nauka i Mir. 2016. V. 1. № 1 (29). P. 42–45.

УДК 697.922.2
Ахмадиев Фаил Габдулбарович
доктор технических наук, профессор
E-mail: akhmadiev@kgasu.ru
Маланичев Игорь Вячеславович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: mlnchv@bk.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Снижение потерь давления в вентиляционных каналах на основе решения задачи структурно-параметрической оптимизации

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является оценка возможности применения методов структурно-параметрической оптимизации для решения задачи снижения потерь давления в вентиляционных каналах в процессе проектирования систем вентиляции.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в разработке подхода к решению задач структурно-параметрической оптимизации в процессе проектирования систем вентиляции. На первом этапе задача определения геометрических свойств области течения, оптимальных в соответствии с заданным критерием наименьших потерь давления формулируется как непараметрическая, где в качестве структурных переменных выступают значения пористости препятствующей течению фиктивной среды, распределение которой определяет геометрию области течения. Решение непараметрической задачи выполняется методом сопряженных уравнений. На втором этапе выполняется параметризация полученного решения небольшим числом структурных переменных, в качестве которых выступают координаты контрольных точек сплайнов, образующих контуры области течения. Решение параметрической формулировки задачи структурной оптимизации позволяет более точно учесть влияние турбулентности, особенно в пристеночной области течения. В качестве метода оптимизации использован генетический алгоритм. Результаты тестовых расчетов по оптимизации формы вентиляционного канала позволяют уменьшить потери давления в 4-6 раз.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в обосновании эффективности применения структурно-параметрической оптимизации для решения задач конструирования систем вентиляции с улучшенными аэродинамическими характеристиками.

Ключевые слова: потери давления, вентиляционные каналы, структурно-параметрическая оптимизация.

Введение

В процессе проектирования систем вентиляции одной из важнейших задач является снижение потерь давления. Потери давления в воздуховодах связаны с местными сопротивлениями в возмущающих элементах типа отводов, разветвлений, конфузоров вследствие перестройки и деформации потока, образованием вихревых течений при срыве потока с острых кромок конструкции, возникновением зон циркуляции, шероховатостью поверхностей. Уменьшить аэродинамическое сопротивление и потери давления возможно путем изменения формы области течения воздуха сглаживанием ограничивающих поверхностей, профилированием стенок каналов по очертаниям зон циркуляции, определяемым численными [1] или аналитическими [2] методами. Подобный подход позволяет улучшить аэродинамические свойства системы, но для достижения наилучшего результата при заданных условиях должна формулироваться и решаться задача оптимизации [3-5].

Целью работы является оценка возможности применения методов структурно-параметрической оптимизации для решения задачи снижения потерь давления в вентиляционных каналах в процессе проектирования систем вентиляции.

Методика структурно-параметрической оптимизации

Задачи структурной оптимизации для течения газа (жидкости) представляют собой определение геометрических свойств (размеров, формы, топологии) канала или обтекаемых тел, оптимальных в соответствии с заданными критериями [6-8]. Формулировка задач структурной оптимизации включает в себя структурные переменные, критерии и уравнения состояния. Структурные переменные – параметры, определяющие геометрию области течения, в качестве которых могут выступать характерные размеры, координаты контрольных точек, коэффициенты сплайнов, степень проницаемости среды. Критерии – целевые функции, выражающие улучшаемые характеристики течения и принимающие наибольшее или наименьшее значения. В качестве критериев выступают потери давления, расход воздуха, сопротивление течению, степень однородности потока в заданном сечении. Уравнения состояния – уравнения, описывающие процессы аэродинамики и тепломассопереноса, выступающие в роли условий-ограничений задачи оптимизации. Могут быть дополнены обычными ограничениями на значения структурных переменных в виде уравнений или неравенств. Для задач структурной оптимизации характерна многоэкстремальность и большая размерность.

В случае стационарного течения воздуха как несжимаемой среды с минимальными потерями энергии задача оптимизации формы области течения может быть сформулирована в следующем виде:

- минимизировать целевую функцию:

$$J(\alpha, \vec{u}, p) = -\int_{\Gamma} d\Gamma \left(p + \frac{u^2}{2} \right) \vec{u} \cdot \vec{n} \to \min ; \tag{1}$$

- при условиях-ограничениях:

$$\mathrm{R}(\alpha, \vec{u}, p) = 0 , \tag{2}$$

где α – структурные переменные; $\vec{u}$ – гидродинамическая скорость; p – кинематическое давление; Γ – граничные поверхности области течения; $\vec{n}$ – вектор нормали к граничной поверхности; $R=(R_1, R_2, R_3, R_4)^T$ – вектор функций, входящих в уравнения Навье-Стокса и неразрывности:

$$\begin{gathered} (R_1, R_2, R_3)^T = (\vec{u} \cdot \nabla)\vec{u} + \nabla p - \nabla \cdot (2\nu \mathrm{D}(\vec{u})) + \vec{F}(\alpha) , \\ R_4 = -\nabla \cdot \vec{u} ; \end{gathered} \tag{3}$$

$\vec{F}$ – объемные силы; $\mathrm{D}(\vec{u}) = \frac{1}{2}\left(\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T\right)$; $\nu=\nu_m+\nu_t$ – эффективная вязкость, представляющая собой сумму молекулярной вязкости ν_m и турбулентной ν_t, определяемой на основе заданной модели турбулентности.

Непараметрическая оптимизация. **Метод сопряженных уравнений**

На начальном этапе решения предполагаем наличие только общих характеристик области течения воздуха, таких как расход, размеры и формы входных и выходных сечений, габаритные размеры конструкции.

Задача решается как непараметрическая. В качестве структурных переменных выступают значения пористости препятствующей течению фиктивной среды, распределение которой определяет геометрию области течения. Область течения жидкости в пределах заданного габаритного объема рассматривается как заполненная фиктивной пористой средой с коэффициентом пористости α ($0 \le \alpha \le \alpha_{max}$), создающей силу сопротивления в виде:

$$\vec{F}_{conp} = -\alpha \vec{u} , \tag{4}$$

где $\alpha=0$ соответствует полной проницаемости (воздух), $\alpha=\alpha_{max}$ – полной непроницаемости (твердое тело), а границы между газом (жидкостью) и твердым телом соответствуют точкам, где $\alpha=0{,}5\alpha_{max}$. Области с низкой проницаемостью, соответствующие застойным зонам или зонам циркуляции, затем исключаются из области течения.

Эффективным методом решения непараметрической задачи структурной оптимизации является метод сопряженных уравнений (adjoint method) [9].

Вводятся сопряженные переменные: сопряженная скорость $\vec{u}_a$ и сопряженное давление p_a. Вводится функция Лагранжа как новая целевая функция:

$$L = J + \int_{\Omega} (\vec{u}_a, p_a) \cdot \mathrm{R} d\Omega . \tag{5}$$

Из условия экстремума функции Лагранжа следуют сопряженные уравнения вида:

$$\begin{gathered} -2\mathrm{D}(\vec{u}_a)\vec{u} = -\nabla p_a + \nabla\cdot(2\nu\mathrm{D}(\vec{u}_a)) + \alpha\vec{u}_a\,, \\ \nabla\cdot\vec{u}_a = 0\,. \end{gathered} \tag{6}$$

и сопряженные граничные условия:

- на входе:

$$(\vec{u}_a)_n = -(\vec{u})_n\,; \tag{7}$$

- на стенках:

$$\vec{u}_a = 0\,; \tag{8}$$

- на выходе:

$$\begin{gathered} (\vec{u})_n\left((\vec{u}_a)_t - \vec{u}_t\right) + \nu(\vec{n}\cdot\nabla)(\vec{u}_a)_t = 0, \\ p_a = \vec{u}\cdot\vec{u}_a + (\vec{u})_n(\vec{u}_a)_n + \nu(\vec{n}\cdot\nabla)(\vec{u}_a)_n - \frac{1}{2}u^2 - (\vec{u})_n^{\,2}, \end{gathered} \tag{9}$$

где индексы *n* и *t* соответствуют нормальной и тангенциальной к граничной поверхности составляющим вектора.

После решения сопряженных уравнений относительно $\vec{u}_a$ и p_a вычисляются коэффициенты чувствительности:

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha_i} = \frac{\partial J}{\partial \alpha_i} + \int_\Omega (\vec{u}_a, p_a)\cdot\frac{\partial \mathrm{R}}{\partial \alpha_i}\,d\Omega = (\vec{u})_i\cdot(\vec{u}_a)_i V_i\,, \tag{10}$$

где *i* – номер ячейки; V_i – объем *i*-й ячейки.

Структурные переменные (пористость) в каждой ячейке изменяются согласно соотношению:

$$\alpha_{new} = \alpha_{old}(1-\gamma) + \gamma\min(\max(\alpha_{old} - \lambda\vec{u}_a\cdot\vec{u},\,0),\ \alpha_{\max})\,, \tag{11}$$

где α_{new} – новое значение; α_{old} – старое значение; γ=0,1 – релаксационный фактор; λ – числовой коэффициент, определяющий величину шага изменения α.

Результаты решения непараметрической задачи структурной оптимизации позволяют конкретизировать топологию области течения, но представляют собой лишь рациональное решение, далекое от оптимального. Это связано с тем, что описанная выше формулировка метода сопряженных уравнений недостаточно учитывает эффекты турбулентности. Турбулентная вязкость v_t в сопряженных уравнениях считается постоянной (так называемая «замороженная турбулентность»). Пристеночные эффекты, для турбулентных течений существенно влияющие на оптимальную форму канала, не учитываются, т.к. граница между газом и непроницаемой областью фиктивной среды не является твердой стенкой с соответствующими граничными условиями.

Параметрическая оптимизация. **Генетический алгоритм**

На втором этапе выполняется параметризация полученного решения небольшим числом структурных переменных, в качестве которых выступают координаты контрольных точек сплайнов, образующих контуры области течения. Решается задача параметрической оптимизации. В качестве метода оптимизации использован генетический алгоритм.

Генетический алгоритм – это эвристический популяционный метод поисковой оптимизации, моделирующий механизмы адаптации, аналогичные естественному отбору в природе [10-11]. Реализация генетического алгоритма состоит в следующем:

1. Формулировка генотипа. Параметры задачи (структурные переменные) кодируются двоичными строками, длина которых определяется диапазоном допустимых значений параметров и требуемой точностью (20-ти битная строка обеспечивает погрешность представления 10^{-6}) и объединяются, образуя «генотип». Каждый вариант генотипа представляет собой возможное решение задачи и трактуется как наследственные признаки отдельной особи.

2. Формулировка функции приспособленности. Целевая функция задачи оптимизации, зависящая от параметров задачи и, следовательно, от генотипа, трактуется как функция приспособленности особи к условиям жизни.

3. Формирование популяции. Генерируется заданное число (обычно от нескольких десятков до нескольких сотен) «особей» популяции, имеющих случайным образом сформированный генотип.

4. Селекция. Вычисляется функция приспособленности для всех особей популяции. Значения ранжируются. Половина особей с худшими значениями функции приспособленности удаляется из популяции («вымирает»).

5. Скрещивание. Из оставшихся особей случайным образом формируются пары «родителей», рождающих два «потомка». Потомки наследуют родительские генотипы в результате действия бинарного оператора скрещивания. В генотипах родителей случайным образом выбирается бит, делящий их на две части. В генотипах потомков сохраняются части генотипов, взятые от разных родителей.

6. Мутации. Генотипы потомков изменяются случайным образом в результате действия бинарного оператора мутации. Отдельные биты инвертируются с заданной малой вероятностью. Мутации препятствуют эффекту «клонирования», т.е. преобладанию в популяции особей с одинаковыми генотипами и остановке процесса эволюции.

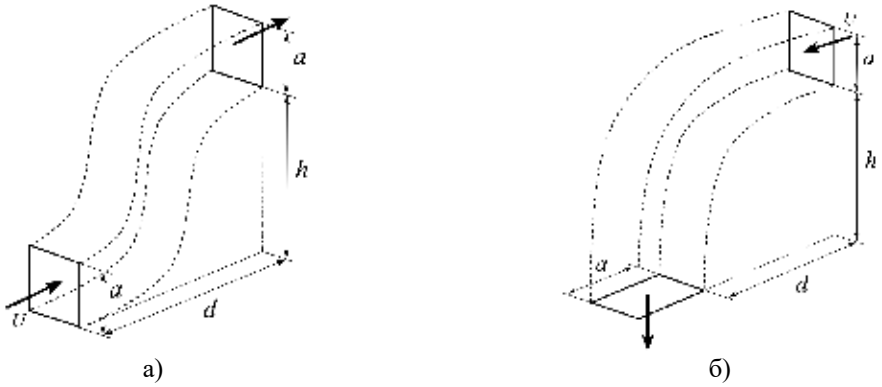
7. Поколение. Родители и их потомки образуют новое поколение популяции. Процессы селекции, скрещивания и мутации повторяются до выполнения заданных критериев.

8. Критерии завершения. Процесс оптимизации генетическим алгоритмом завершается при нахождении экстремума функции приспособленности с заданной точностью или достижения заданного максимального числа поколений (потомков). Решением задачи является набор параметров, соответствующий генотипу особи с наилучшим значением функции приспособленности.

Описанный выше двухэтапный процесс решения задач структурно-параметрической оптимизации области течения газа (жидкости) может быть реализован при проектировании систем вентиляции.

Оптимизация формы вентиляционного канала

В качестве тестовой рассмотрим представляющую практический интерес задачу оптимизации формы вентиляционного канала [1-5]. Требуется направить воздух, поступающий из отверстия прямоугольного сечения шириной a со скоростью U в такой же формы и размеров отверстие, смещенное по горизонтали на d и вертикали на h м через вентиляционный каналы «S»-образной и «Г»-образной формы с наименьшими потерями давления (рис. 1).



а) б)

Рис. 1. Схема вентиляционного канала: а) «S»-образного; б) «Г»-образного (иллюстрация авторов)

Решение задачи оптимизации формы вентиляционного канала выполнялось с помощью программ OpenFOAM 3.0 и DAKOTA 6.6, скомпилированных из исходных кодов в операционной системе Ubuntu 14.04, установленной в виртуальной машине VirtualBox в операционной системе Windows 7.

OpenFOAM (Open Source Field Operation And Manipulation – открытый код для операций и манипуляций с полями) – свободно распространяемый инструментарий вычислительной гидродинамики [12-13]. Расчеты в OpenFOAM основаны на методе конечных объемов и позволяют решать множество различных задач механики сплошных сред, в частности:

- Задачи гидродинамики ньютоновских и неньютоновских вязких жидкостей как в несжимаемом, так и сжимаемом приближении с учётом турбулентности, конвективного

теплообмена и действия сил гравитации. Возможно решение дозвуковых, околозвуковых и сверхзвуковых задач;

- Задачи теплопроводности в твёрдом теле;
- Сопряжённые и многофазные задачи (теплообмен, конденсация, горение, химические реакции). DAKOTA (Design Analysis Kit for Optimization and Terascale Applications – средство проектного анализа для оптимизации и крупномасштабных приложений) – свободно распространяемый инструментарий для численного решения задач оптимизации проектирования [14]. DAKOTA обеспечивает универсальный интерфейс взаимодействия с приложениями и позволяет решать множество различных задач проектирования, в частности:
- планирование экспериментов;
- анализ пространства параметров, количественная оценка неопределенности, чувствительности, построение функций отклика;
- оптимизация градиентными и неградиентными методами.

Предполагая, что ширина канала намного больше размеров поперечного сечения, решаем задачу как двумерную, рассматривая течение в плоскости канала.

Непараметрическая задача оптимизации методом сопряженных уравнений решается в OpenFOAM. Для решения задач структурной оптимизации методом сопряженных уравнений по критерию минимальных потерь энергии в канале с одним входным и одним выходным отверстием в OpenFOAM используется решатель adjointShapeOptimizationFoam. Габаритный объем области течения задается в виде прямоугольного параллелепипеда с входным и выходным отверстиями (рис. 2а), дополненными вспомогательными входным и выходным каналами, не участвующими в процессе оптимизации (на рисунке не показаны). Расчеты выполнялись на регулярной гексагональной сетке.

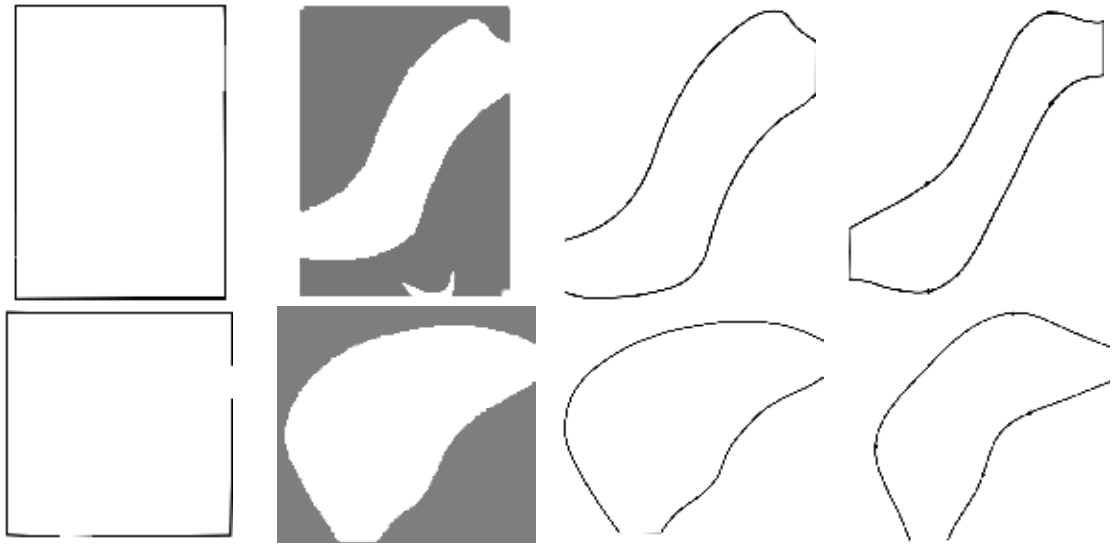


Рис. 2. Исходная и оптимизированная форма области течения для «S»-образного канала (верхний ряд) и «Г»-образного канала (нижний ряд):
а) исходная форма; б) форма по результатам непараметрической оптимизации;
в) параметрическая аппроксимация; г) форма по результатам параметрической оптимизации.
Вспомогательные входной и выходной каналы не показаны (иллюстрация авторов)

Полученные в результате решения непараметрической задачи оптимизации границы распределения плотности фиктивного пористого материала (рис. 2б), аппроксимированные сплайнами, описывают оптимизированную форму области течения (рис. 2в).

Координаты контрольных точек сплайнов, образующих контуры области течения, принимаются в качестве параметров. Параметрическая задача оптимизации решается на основе генетического алгоритма в программе DAKOTA, которая управляет процессом определения полей скорости и давления в OpenFOAM путем автоматической

модификации текстовых файлов, задающих параметры сеточного генератора. В качестве сеточного генератора использовалась утилита blockMesh, входящая в состав OpenFOAM, предназначенная для создания регулярных гексагональных сеток, образованных комбинацией блоков, в общем случае с криволинейными ребрами.

Решение задачи оптимизации формы вентиляционного канала выполнялось для следующих значений параметров:

- размеры оптимизируемой области – a=0,5 м; d=2,5 м; h=2 м;
- длина вспомогательных входного и выходного каналов – 3 м;
- скорость на входе U=10 м/с;
- параметры газа – вязкость ν=1,15·10^{-5} м^2/с; плотность ρ=1 кг/м^3;
- модель турбулентности – k–ε;
- параметры непараметрической оптимизации α_{max}=500; λ=1·10^{-3};
- точек аппроксимации границ – 8;
- параметры генетического алгоритма – число параметров – 4; размер популяции – 20; число потомков – 200;
- параметры сетки: разрешение сетки в оптимизируемой области – 100×50×1 ячеек; общее число ячеек – 15000; минимальный размер ячейки – 7,6·10^{-4} м.

Результаты оптимизации приведены в табл. Непараметрическая оптимизация позволила уменьшить потери давления в 2-3 раза, параметрическая оптимизация – еще в 2 раза.

Таблица

Потери давления в канале оптимизированной формы относительно исходных значений

Результаты / форма	непараметрической оптимизации (рис. 2б)	параметрической аппроксимации (рис. 2в)	параметрической оптимизации (рис. 2г)
«S»-образная	34,5 %	25,4 %	10,4 %
«Г»-образная	63,9 %	32,6 %	15,6 %

Заключение

Предлагаемый подход к решению задачи снижения потерь давления в вентиляционных каналах состоящий в последовательной реализации непараметрической и параметрической структурной оптимизации геометрии канала, где в качестве численных методов используется метод сопряженных уравнений и генетический алгоритм, позволяет проектировать системы вентиляции с улучшенными аэродинамическими характеристиками. Описанный подход может быть адаптирован для задач строительного проектирования другого типа, требующих трехмерной формулировки, иных критериев оптимальности (повышение степени однородности потока), или комбинации критериев (многокритериальная задача), включая дополнительные условия-ограничения, например, для объема (материалоемкости) конструкции.

Список библиографических ссылок

1. Зиганшин А. М., Беляева Е. Э., Соколов В. А. Снижение потерь давления при профилировании острого отвода и отвода с нишей // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. № 1. С. 108–116.
2. Маклаков Д. В., Посохин В. Н., Сафиуллин Р. Г. О снижении потерь давления в возмущающих элементах воздуховодных систем // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. № 8. С. 80–87.
3. Wojewodka M., White C., Shahpar S., Kontis K. A review of flow control techniques and optimisation in s-shaped ducts // International Journal of Heat and Fluid Flow. 2018. Vol. 74. P. 223–235.
4. Manuel M., Lin P., Chang M. Optimal duct layout for HVAC using topology optimization // Science and Technology for the Built Environment. 2018. Vol. 24. № 3. P. 212–219.

5. D'Ambros A., Kipouros T., Zachos P., Savill M., Benini E. Computational Design Optimization for S-Ducts // Designs. 2018, Vol. 2. Issue 4. Article № 36. 21 p.
6. Bendsøe M. P., Sigmund O. Topology Optimization. Theory, Methods, and Application. Springer, 2004. 381 p.
7. Ахмадиев Ф. Г., Маланичев И. В. Популяционный алгоритм структурной оптимизации плоских течений жидкости в каналах // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 5. С. 72–75.
8. Ахмадиев Ф. Г., Маланичев И. В. Нейросетевые алгоритмы топологической оптимизации в задачах гидродинамики // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22. № 7. С. 110–113.
9. Othmer C. A continuous adjoint formulation for the computation of topological and surface sensitives of ducted flows // Int. J. Numer. Meth. Fluid. 2008. Vol. 58. P. 861–877.
10. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. М. : МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. 446 с.
11. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М. : Горячая линия – Телеком, 2013. 384 с.
12. Marić T., Höpken J., Money K. The OpenFOAM Technology Primer. Sourceflux UG, 2014. 458 p.
13. Moukalled F., Mangani L. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM and Matlab. Springer, 2016. XIV. 791 p.
14. DAKOTA. A Multilevel Parallel Object-Oriented Framework for Design Optimization, Parameter Estimation, Uncertainty Quantification, and Sensitivity Analysis: Version 6.7 User's Manual. URL: https://dakota.sandia.gov/sites/default/files/docs/6.6/Users-6.6.0.pdf (дата обращения: 15.10.2019).

Akhmadiev Fail Gabdulbarovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: akhmadiev@kgasu.ru
Malanichev Igor Vyacheslavovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: mlnchv@bk.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Reducing of pressure losses in ventilation ducts based on the solution of the structural and parametric optimization problem

Abstract

Problem statement. The aim of the work is to evaluate the possibility of applying structural-parametric optimization methods to solve the problem of reducing pressure losses in ventilation ducts during the design of ventilation systems.

Results. The main results of the study are the development of an approach to solving structural and parametric optimization problems in the process of designing ventilation systems based on free software. At the first stage, the problem of determining the geometric properties of the flow region that are optimal in accordance with the specified criterion as lowest pressure loss is formulated as nonparametric, where the structural variables are the porosity of the fictitious medium that impedes the flow, the distribution of which determines the geometry of the flow region. The solution of the nonparametric problem is carried out by the conjugate method. At the second stage, the resulting solution is parameterized with a small number of structural variables, which are the coordinates of the control points of the splines that form the contours of the flow region. The solution of the parametric formulation of the structural optimization problem makes it possible to more accurately take into account the effects of turbulence, especially in the near-wall regions of the flow. Genetic algorithm is used as an optimization method. The results of test calculations for optimization of the ventilation duct shape can reduce pressure losses by 4-6 times.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry is the confirmed effectiveness of the structural and parametric optimization for solving the problems of designing ventilation systems with improved aerodynamic characteristics.

Keywords: pressure loss, ventilation ducts, structural and parametric optimization.

References

1. Ziganshin A. M., Belyaeva E. E., Sokolov V. A. Pressure losses reduction with profiling sharp elbow and elbow with dead-end // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2017. № 1. P. 108–116.
2. Maklakov D. V., Posokhin V. N., Safiullin R. G. On the reduction of pressure losses in the disturbing elements of ventilation systems // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2017. № 8. P. 80–87.
3. Wojewodka M., White C., Shahpar S., Kontis K. A review of flow control techniques and optimisation in s-shaped ducts // International Journal of Heat and Fluid Flow. 2018. Vol. 74. P. 223–235.
4. Manuel M., Lin P., Chang M. Optimal duct layout for HVAC using topology optimization // Science and Technology for the Built Environment. 2018. Vol. 24. № 3. P. 212–219.
5. D'Ambros A., Kipouros T., Zachos P., Savill M., Benini E. Computational Design Optimization for S-Ducts // Designs. 2018, Vol. 2. Issue 4. Article number 36. 21 p.
6. Bendsøe M. P., Sigmund O. Topology Optimization. Theory, Methods, and Application. Springer, 2004. 381 p.
7. Akhmadiev F. G., Malanichev I. V. Population-based algorithm of structural optimization of plane fluid flows in channel // Vestnik tehnologicheskogo universiteta. 2017. Vol. 20. № 5. P. 72–75.
8. Akhmadiev F. G., Malanichev I. V. Neural network topological optimization algorithms in hydrodynamic problems // Vestnik tehnologicheskogo universiteta. 2019. Vol. 22. № 7. P. 110–113.
9. Othmer C. A continuous adjoint formulation for the computation of topological and surface sensitives of ducted flows // Int. J. Numer. Meth. Fluid. 2008. Vol. 58. P. 861–877.
10. Karpenko A. P. Modern algorithms of search optimization. Algorithms inspired by nature. M. : MGTU, 2014. 446 p.
11. Rutkovskaya D, Pilinsky M., Rutkovsky L. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. M. : Goryachaya liniya – Telekom, 2013. 384 p.
12. Marić T., Höpken J., Money K. The OpenFOAM Technology Primer. Sourceflux UG, 2014. 458 p.
13. Moukalled F., Mangani L. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM and Matlab. Springer, 2016. – XIV. 791 p.
14. Dakota. A Multilevel Parallel Object-Oriented Framework for Design Optimization, Parameter Estimation, Uncertainty Quantification, and Sensitivity Analysis: Version 6.6 User's Manual. URL: https://dakota.sandia.gov/sites/default/files/docs/6.6/Users6.6.0.pdf (reference date: 15.10.2019).

УДК 697.92
Бройда Владимир Аронович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: broida@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Дорофеенко Николай Сергеевич
инженер-проектировщик
E-mail: ndorofeenko@yandex.ru
ООО «Производственное предприятие «ТехВент»
Адрес организации: 421001, Россия, г. Казань, ул. Нигматуллина, д. 1/47

Эффективность прямого естественного охлаждения в системе кондиционирования воздуха для помещений со значительными поступлениями тепла

Аннотация

Постановка задачи. Естественное охлаждение в системе кондиционирования воздуха снижает потребление электроэнергии компрессорами холодильной машины, сберегает ресурс работы компрессоров, его широкое внедрение – актуальная задача. Область рационального применения прямого естественного охлаждение существенно зависит от характеристик климата местности, требований к микроклимату помещения, поступления тепла в помещение в значительной части года. Цель исследования – выявить эффективность прямого естественного охлаждения, на основе расчета, опирающегося на общедоступную климатологическую информацию, учитывающего работу воздухоохладителя, парового увлажнителя, основных вентиляторов, выполненного для годового цикла работы системы кондиционирования воздуха.

Результаты. Основные результаты исследования заключаются в предложенном способе оценки энергетической эффективности прямого естественного охлаждения и в выполненных расчетах для разных климатических регионов России, подтверждающих его высокую эффективность и, следовательно, целесообразность применения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что применение систем естественного охлаждения совместно и вместо систем машинного охлаждения при достаточно широких рамках требований к микроклимату возможно для разных климатических зон. Оно целесообразно для большой группы помещений с тепловыделениями и позволяет существенно сократить затраты энергии на кондиционирование воздуха.

Ключевые слова: кондиционирование, естественное охлаждение, затраты энергии, мощность, эффективность.

Введение

Современные теплонапряженные помещения – это, прежде всего, помещения для телекоммуникационной аппаратуры, серверные станции с мощными компьютерами, центры обработки и хранения данных (ЦОД) и другие подобные комнаты. Качество функционирования сложной и дорогой аппаратуры и ее сохранность во многом зависит от надежной работы систем, обеспечивающих требуемый микроклимат. Основная роль в обеспечении микроклимата отводится системам кондиционирования воздуха, которые потребляют много электрической и тепловой энергии для круглогодичного обеспечения требуемых условий. Традиционно для подобных помещений применяются системы кондиционирования с холодильными машинами для летнего режима охлаждения и осушения воздуха. В холодный период года может требоваться отопление и увлажнение воздуха.

Существенно понизить затраты энергии, особенно электрической, можно используя технологию естественного охлаждения – Free Cooling – буквально с англ. «свободное охлаждение». Суть технологии заключается в использовании наружного воздуха для охлаждения помещения в тех ситуациях, когда температура наружного воздуха хотя бы на

2-3 градуса ниже внутренней. Естественное охлаждение (ЕО) снижает потребление электроэнергии компрессорами холодильной машины, сберегает ресурс работы компрессоров. К помещениям, в которых рационально применение ЕО, могут быть отнесены и другие производственные помещений с большими выделениями тепла, и даже некоторые помещения общественных зданий, как правило, находящиеся внутри их объемов и не имеющих наружных стен, через которые происходят трансмиссионные потери тепла.

Возможно несколько вариантов применения ЕО: непосредственная подача прохладного наружного воздуха в помещение – прямое естественное охлаждение; охлаждение приточного воздуха наружным в воздухо-воздушных теплообменниках (косвенное естественное охлаждение), такой способ может дополняться испарительным охлаждением; охлаждение наружным воздухом воды или незамерзающего раствора, с помощью которого производится охлаждение внутреннего воздуха, например, в фанкойлах. Все названные варианты имеют разнообразное техническое воплощение.

Пожалуй, самый эффективный метод – прямое естественное охлаждение. Предпосылками для его успешной реализация являются значительные поступления тепла в помещение, а также невысокая температура наружного воздуха, обеспечивающая достаточную разность температур с внутренним воздухом – это климатические данные района строительства.

Наконец, благоприятными могут быть расчетные параметры внутреннего воздуха. Устаревшие рекомендации для подобных помещений: температура воздуха от 20 ºС до 25 ºС, относительная влажность от 40 % до 50 %. Современные зарубежные рекомендации, ориентированные на более надежную технику, допускают широкие границы микроклимата. Например, рекомендуемые для помещений ЦОД всех классов А: температура воздуха от 18 ºС до 27 ºС, относительная влажность не более 60 %. Допустимые условия, например, для класса А4: температура воздуха от 5 ºС до 45 ºС, относительная влажность от 8 % до 90 %. Широкий диапазон параметров внутреннего воздуха позволяет реализовывать ЕО при меньших затратах энергии на тепловлажностную обработку, а во многих случаях она не потребуется.

Для расчета эффективности ЕО охлаждения требуется информация о наружном климате. Характеристики климата могут описываться различными способами: на основе статистических распределенных моделей [1, 2]; в виде продолжительности стояния температур в определенном диапазоне [3]; в виде простых, часто гармонических колебаний параметра (температуры, энтальпии, относительной влажности и т.д.) [4], основанных на обработке хода изменения среднемесячных значений параметра за многолетние наблюдения и другими способами. Описание в виде хода среднемесячных значений климатического параметра удобно тем, что отсекается малозначимая информация, но сохраняются основные тенденции годового изменения параметра. Такое описание удобно использовать при расчете потребления энергии, затрачиваемой на работу системы обеспечения микроклимата. При этом достаточно информации, содержащейся в СП «Строительная климатология». Все другие способы требуют привлечения дополнительной климатологической информации и, часто, ее сложной обработки.

Специалисты проявляют заинтересованность в применении естественного охлаждения, поскольку это направление актуально и связано с существенным энергосбережением. Имеются публикации [5-8], посвященные различным способам реализации естественного охлаждения, и постоянно появляются новые отечественные и зарубежные работы [9-13], в которых отмечаются достоинства и недостатки различных способов, приводятся экономические сравнения вариантов исполнения, сопоставление различных методов кондиционирования.

Для помещений ЦОД применяют показатель «климатический PUE», (англ. Power Usage Efficiency), который вычисляется на основе энергопотребления технологического оборудования $Э_{ТЕХН}$ и энергопотребления системы микроклимата $Э_{МКЛИМ}$:

$$PUE=(Э_{ТЕХН}+Э_{МКЛИМ})/Э_{ТЕХН}. \quad (1)$$

Максимальное значение PUE=1; для традиционного ЦОД с системой микроклимата на основе чиллеров или автономных кондиционеров PUE=1,5÷1,3. Отмечается, что естественное охлаждение может понижать PUE до 1,1÷1,2, а в наиболее эффективных

системах до 1,05. Значения PUE показывают выгоду естественного охлаждения. Возможно применение и других показателей его эффективности.

Часто выводы об эффективности конкретного способа естественного охлаждения делается на основе расчетов энергопотребления в отдельных состояниях исследуемой системы, что несколько снижает точность оценок, даже при скрупулезном учете всех затрат энергии.

Цель исследования

Цель исследования – выявить эффективность прямого естественного охлаждения, на основе расчета, опирающегося на общедоступную климатологическую информацию, учитывающего работу воздухоохладителя, парового увлажнителя, основных вентиляторов, выполненного для годового цикла работы системы кондиционирования воздуха.

Метод исследования

По характеру цели исследования разумно выполнять расчеты потребления энергии системой кондиционирования воздуха с воздухоохладителем и с паровым увлажнителем, имеющей функцию прямого естественного охлаждения. Режим прямого естественного охлаждения используется в той части годового цикла, когда температуры наружного воздуха t, °С, невысоки, ниже расчетной температуры внутреннего воздуха t_B. В некоторой части годового цикла может возникать потребность в увлажнении воздуха, обычно это бывает в холодный период года.

Для применения естественного охлаждения подходят помещения со значительными поступлениями тепла в течение большей части годового цикла. Такими обычно являются технологические тепловыделения, которые для определенных видов производств можно характеризовать теплонапряженностью помещения q, Вт/м^3. Тогда, выделения тепла в помещение, Вт, составят:

$$Q=q\cdot V, \quad (2)$$

где V – объем помещения, м^3.

Потери тепла помещением через наружные ограждения (или приток тепла в помещение) при любой температуре наружного воздуха можно выразить через удельную тепловую характеристику x, Вт/(м^3·°С):

$$Q_T=x\cdot V\cdot(t_B-t). \quad (3)$$

Явное тепло, приносимое (или удаляемое) вентиляционным воздухом, Q_B, Вт, определяется выражением:

$$Q_B=0{,}278\cdot L\cdot c\cdot\rho\cdot(t_B-t), \quad (4)$$

где L – расход вентиляционного воздуха, м^3/ч; c – удельная теплоемкость воздуха, c=1, 006 кДж/(кг·°С); ρ – плотность воздуха, кг/м^3.

Тепловой баланс помещения по явному теплу определяется выражением:

$$\Delta Q=Q-Q_T-Q_B=q\cdot V-x\cdot V\cdot(t_B-t)-0{,}278\cdot L\cdot c\cdot\rho\cdot(t_B-t). \quad (5)$$

Здесь ΔQ – избытки или недостатки явного тепла в помещении, Вт.

Изменение температуры в годовом цикле для большинства населенных пунктов, достаточно хорошо описываются первыми членами разложения климатического параметра в тригонометрический ряд, обычно достаточно двух первых членов ряда. Так годовое изменение температуры наружного воздуха можно представить в виде:

$$t=t_I+A\cdot Cos(z), \quad (6)$$

где t_I – первый член разложения в ряд, который можно трактовать как среднегодовое значение температуры, °С; A – коэффициент при втором члене разложения в ряд, понимается как половина амплитуды годового изменения температуры наружного воздуха, °С; z – безразмерная характеристика времени, отсчитываемого от годового максимума температуры, выраженная в радианах, $z=Z\cdot 2\pi/365$, рад; Z – период времени, отсчитываемого от годового максимума температуры, сут.

Годовое изменение парциального давления водяных паров P, кПа также можно приближенно представить с помощью двух первых членов разложения в ряд:

$$P=P_0+P_1\cdot Cos(z), \quad (7)$$

где P_0 и P_1 – соответственно, первые коэффициенты ряда парциального давления водяных паров, кПа.

Определить $t_Г$, A, P_0, P_1 можно используя среднемесячные значения за наиболее жаркий (июль) и холодный (январь) месяцы из СП «Строительная климатология»:

$$t_Г=(t_{ИЮЛ}+t_{ЯНВ})/2,$$
$$A=(t_{ИЮЛ}-t_{ЯНВ})/2,$$
$$P_0=(P_{ИЮЛ}+P_{ЯНВ})/2,$$
$$P_1=(P_{ИЮЛ}-P_{ЯНВ})/2.$$

Значения $t_Г$, A, P_0, P_1 для описания климата трех городов России представлены в табл. 1.

Таблица 1

Климатические коэффициенты некоторых городов России

Город	$t_Г$, °С	A, °С	P_0, кПа	P_1, кПа
Краснодар	11,1	12,45	1,06	0,65
Казань	2,8	16,3	0,865	0,645
Кемерово	0	18,8	0,69	0,64

Используя значение P с помощью известной системы уравнений, описывающей свойства влажного воздуха можно рассчитать среднесуточные значения влагосодержания наружного воздуха d, кг/кг.

Максимальное d_1 и минимальное d_2 влагосодержания внутреннего воздуха определяются по соответствующим нормируемым максимальным и минимальным температурам t_B и относительным влажностям φ_B, %, с помощью системы уравнений влажного воздуха.

Влагосодержание воздуха в помещении определяется выражением:

$$d_B=d+W/(L\cdot\rho), \quad (8)$$

где W – влаговыделения в помещение, кг/ч.

У большинства производств выделения влаги в помещения незначительны.

Если

$$d_B>d_1, \quad (9)$$

тогда появляется нагрузка осушения воздуха, то есть возрастает нагрузка воздухоохладителя, что обычно встречается в теплый период года. В этом случае нагрузка воздухоохладителя составит, Вт:

$$\Delta Q_П \approx \Delta Q+3{,}6\cdot r\cdot(d_B-d_1)\cdot L\cdot\rho, \quad (10)$$

где r – скрытая теплота парообразования, r=2500 кДж/кг.

Если

$$d_B<d_2, \quad (11)$$

что более характерно для холодного периода года, тогда возникает нагрузка парового увлажнителя, Вт:

$$N_{ПУ}\approx ((d_2-d_B)\cdot L\cdot\rho\cdot(r+c_W\cdot\Delta t_W))/3{,}6, \quad (12)$$

где c_W – удельная теплоемкость воды, c_W =4,187 кДж/(кг·К); Δt_W – температурный перепад, на который нагревается вода в парогенераторе, его можно приближенно оценить $\Delta t_W \approx$90 °С.

При прямом естественном охлаждении, регулируется подача наружного воздуха. Укажем диапазоны регулирования расхода наружного воздуха.

Обычно включение ЕО происходит, когда разность температур внутреннего и наружного воздуха достигает 2-3 °С. Пусть температура включения ЕО t_1 равна:

$$t_1=t_{B1}-3, \quad (13)$$

где t_{B1} – максимальное нормируемое значение температуры внутреннего воздуха, °С.

В диапазоне изменения температуры наружного воздуха от ее максимального значения t_{MAX} до t_1, охлаждение достигается целиком за счет работы холодильной машины, при этом система кондиционирования подает постоянный минимальный расход наружного воздуха L_H, который чаще определяется по санитарной норме или компенсацией местной вытяжки.

В диапазоне температур от t_1 до температуры отключения компрессоров холодильной машины t_2, используется машинное и естественное охлаждение. При достижении температуры t_2, система кондиционирования включается на максимальную

подачу наружного воздуха L_0, чтобы полнее использовать возможности ЕО. Значение t_2 определяется по формуле:

$$t_2=t_{B1}-3{,}6\cdot Q/(3{,}6\cdot x\cdot V+L_0\cdot c\cdot\rho). \quad (14)$$

Величина расхода воздуха L_0 находится исходя из максимальной потребности в холоде, ΔQ_{MAX}, которая наблюдается при наиболее высокой температуре наружного воздуха $t_{MAX}= t_I+A$:

$$L_0= 3{,}6\cdot\Delta Q_{MAX}/(c\cdot\rho\cdot\Delta t), \quad (15)$$

где Δt – допустимый перепад температур при охлаждении воздуха в испарителе холодильной машины, которая в случае использования ЕО определяется способом воздухозабора и раздачи.

При изменении температуры наружного воздуха от t_2 до t_3 – температура, при которой исчезают избытки тепла в помещении – используется только ЕО. Его мощность охлаждения соответствует снижающимся теплоизбыткам помещения. Значение температуры t_3 находится из выражения (14), в котором вместо L_0 используется L_H. Расход наружного воздуха L уменьшается от L_0 до L_H, его изменение в этом диапазоне температур выражается формулой:

$$L=3{,}6\cdot(Q+x\cdot V\cdot(t-t_{B1}))/(\rho\cdot c\cdot(t_{B1}-t)). \quad (16)$$

В диапазоне температур наружного воздуха от t_3 до t_4 при неизменном расходе наружного воздуха L_H за счет теплопотерь помещения температура воздуха в нем снижается до меньшего нормируемого значения t_{B2}. Значение температуры t_4 определяется выражением (14) в котором вместо L_0 используется L_H, а вместо $t_{B1} – t_{B2}$.

Наконец, в диапазоне температур от t_4 до минимальной расчетной для данной местности t_{MIN} – требуется отопление помещения. При сочетании не очень высокой максимально температуры наружного воздуха и, наоборот, повышенной предельной температуры t_{B1}, может получиться, что $t_{MAX}<t_1$ – первый температурный интервал отсутствует. При больших технологических поступлениях тепла последний температурный интервал может отсутствовать, об этом свидетельствует выполнение условия $t_4\leq t_{MIN}$.

Каждому температурному диапазону соответствуют свои временные границы, выраженные в безразмерном виде в рад: $0–z_1$, $z_1–z_2$, $z_2–z_3$, $z_3–z_4$, $z_4–\pi$. Безразмерное время границ каждого температурного диапазона находится по формуле:

$$z_i=arcCos((t_i-t_\Gamma)/A), \quad (17)$$

где t_i – значение температуры наружного воздуха на границе рассматриваемого диапазона, °С.

Годовые затраты искусственного холода, ΔQ_Γ, кВт·ч, без использования естественного охлаждения:

$$\Delta Q_\Gamma = 365/\pi\cdot(b_2-b_1)\cdot(m/7)/1000\cdot\int_0^{z_3}\Delta Q_\Pi dz, \quad (18)$$

где b_1 и b_2 – время начала и окончания работ системы кондиционирования воздуха в течение суток, час; m – число рабочих дней в неделю.

В диапазоне температур наружного воздуха от t_1 до t_2 охлаждающая мощность естественного охлаждения определяется выражением:

$$Q_{EO}=0{,}278\cdot L_0\cdot c\cdot\rho\cdot(t-t_{B1}), \quad (19)$$

за счет Q_{EO} снижаются затраты искусственного холода в этот период.

Годовые затраты искусственного холода при использовании ЕО, $\Delta Q_{\Gamma EO}$, кВт·ч:

$$\Delta Q_{\Gamma EO} = 365/\pi\cdot(b_2-b_1)\cdot(m/7)/1000\cdot(\int_0^{z_1}\Delta Q_\Pi dz+\int_{z_1}^{z_2}(\Delta Q_\Pi - Q_{EO})dz)\cdot \quad (20)$$

В качестве показателя эффективности применения ЕО можно использовать безразмерную величину $Эф_X$, представляющую собой отношение уменьшения затрат искусственного холода к таковым без использования естественного охлаждения:

$$Эф_X=1-\Delta Q_{\Gamma EO}/\Delta Q_\Gamma. \quad (21)$$

В среднем за сезон на выработку 1 кВт холода компрессор расходует 0,22÷0,28 кВт электрической мощности (k_K=0,22÷0,28). Годовое потребление электроэнергии компрессором для выработки холода без использования естественного охлаждения равно:

$$N_{ГК}=k_K\cdot\Delta Q_\Gamma, \quad (22)$$

а при естественном охлаждении:

$$N_{ГКЕО}=N_{ГК}\cdot Эф_{Х}. \quad (23)$$

Годовое потребление энергии паровым увлажнителем кондиционера в режиме без естественного охлаждения $N_{ГП}$, кВт·ч, и в режиме с естественным охлаждением $N_{ГПЕО}$, определяются по одной формуле, но с учетом изменения расхода наружного воздуха во временных диапазонах и выполнением условия (11):

$$N_{ГП}=365/\pi\cdot(b_2-b_1)\cdot(m/7)\cdot\int_0^{\pi}N_{ПУ}dz\cdot \quad (24)$$

Потребляемая электрическая мощность вентиляторов, N_B, кВт, пропорциональна максимальному расходу воздуха, L_0. Предполагается, что работают 2 вентилятора, а изменяющийся расход воздуха L регулируется рециркуляцией, тогда:

$$N_B=H\cdot L_0/(3600\cdot 1000\cdot КПД), \quad (25)$$

где H – полное давление, развиваемое вентилятором, Па; КПД – общий коэффициент полезного действия вентагрегата с учетом потерь энергии в подшипниках, передаче, в электродвигателе.

Годовое потребление электроэнергии вентиляторами определяется также по единой формуле:

$$N_{ГВ}=365/\pi\cdot(b_2-b_1)\cdot(m/7)\cdot\int_0^{\pi}N_{В}dz\cdot \quad (26)$$

Эффективность потребления электроэнергии при использовании ЕО с учетом работы парового увлажнителя и вентилятора можно оценить, применив аналог PUE, приняв за энергопотребление технологического оборудования $Э_{ТЕХН}$ технологические поступления тепла за год, кВт·ч, которые определяются по формуле:

$$Э_{ТЕХН}=Q\cdot(b_2-b_1)\cdot(m/7)\cdot 365/1000. \quad (27)$$

Аналог климатического PUE – условный $PUE_{УСЛ}$ – при использовании ЕО равен:

$$PUE_{УСЛ}=(Э_{ТЕХН}+N_{ГКЕО}+N_{ГП}+N_{ГВ})/Э_{ТЕХН}. \quad (28)$$

Результаты

Для трех регионов России, климатические данные которых представлены в табл. 1, выполнены расчеты по приведенным выше зависимостям при следующих условиях: объем расчетного помещения V=1000 м^3, теплонапряженность q=15 Вт/м^3, удельная тепловая характеристика x=0,3 Вт/(м^3·°С), влаговыделения в помещении отсутствуют W=0 кг/ч, кратность воздухообмена наружного воздуха $Кр_Н$=0,5 1/ч, температурно-влажностные границы внутреннего воздуха: $t_{В1}$=27 °С, $\varphi_{В1}$=60 % ($d_{В1}$=13,3 г/кг); $t_{В2}$=20 °С, $\varphi_{В2}$=20 % ($d_{В2}$=2,9 г/кг). Расчеты выполнены для условий круглосуточной работы системы кондиционирования по 7 дней в неделю: b_1=0 ч, b_2=24 ч, m=7 дней. Затраты электрической мощности компрессора на выработку 1 кВт холода приняты 0, 25 кВт ($k_К$=0,25). Мощность вентиляторов определена при полной потере давления на каждом H=200 Па при общем КПД=0,6, а расход воздуха L_0 определен по формуле (15) при Δt=8 °С. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов по климатическим данным гг. Краснодар, Казань и Кемерово

Наименование расчетной величины	Краснодар	Казань	Кемерово
Максимальный расход наружного воздуха при ЕО, L_0, м^3/ч	4995	4254	4167
Потребность в холоде за год, $\Delta Q_Г$, кВт·ч	63718	39096	34920
Производство машинного холода за год при ЕО, $\Delta Q_{ГЕО}$, кВт·ч	12655	1112	534
Потребление электроэнергии компрессором за год без естественного охлаждения, $N_{ГК}$, кВт·ч	15929	9774	8730
Потребление электроэнергии компрессором за год с естественным охлаждением, $N_{ГКЕО}$, кВт·ч	3164	278	133
Потребление электроэнергии паровым увлажнителем за год с естественным охлаждением, $N_{ГПЕО}$, кВт·ч	121,6	1283	2720
Потребление энергии вентиляторами за год, $N_{ГВ}$, кВт·ч	8104	6901	6759
Относительное снижение затрат холода за счет естественного охлаждения, $Эф_Х$	0,864	0,972	0,984
Теплопоступления технологические за год, $Э_{ТЕХН}$, кВт·ч	131400	131400	131400
Условный PUE	1,087	1,064	1,073

Приведенные результаты расчетов показывают высокую эффективность естественного охлаждения в доле снижения использования искусственного холода (величины $Эф_X$ во всех примерах близки к 1). Об эффективности естественного охлаждения в снижении энергетических затрат по поддержанию требуемых параметров микроклимата свидетельствуют высокие значения условного показателя PUE.

Заключение

Выполненные расчеты показывают, что прямое естественное охлаждение решающим образом снижает потребность в машинном холоде, в разы сокращает потребление электроэнергии компрессорами холодильных машин, ограниченно влияет на затраты энергии парового увлажнения. Заметную долю общих затрат электроэнергии, при использовании прямого естественного охлаждения, составляют затраты на работу вентиляторов, которые также следует учитывать. Следует отметить, что полученные результаты справедливы при достаточно широком диапазоне условий микроклимата.

Предложен способ энергетической оценки эффективности прямого естественного охлаждения, основывающийся на ограниченных и общедоступных климатических данных района строительства.

Список библиографических ссылок

1. Кувшинов Ю. Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий. М. : Ассоциация строительных вузов, 2010. 320 с.
2. Малявина Е. Г., Маликова О. Ю., Лыфонг Ф. В. Роль детализации вероятностно-стохастической модели климата в оценке энергопотребления системами кондиционирования воздуха // Известия вузов. Строительство. 2019. № 1. С. 41–53.
3. Бройда В. А. Экономия тепловой энергии за счет стабилизации расхода естественной вытяжной вентиляции // Известия вузов. Строительство. 2012. № 10. С. 54–58.
4. Малявина Е. Г., Фролова А. А. Расчет энергетически целесообразной температуры наружного воздуха для перехода на свободное охлаждение кондиционируемых помещений // Известия вузов. Строительство. 2012. № 11-12**.** С. 71–78.
5. Бройда В. А. Сравнение эффективности естественного охлаждения у кондиционера с воздушным и водяным охлаждением конденсатора. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : сб. мат. IX Международной научной конференции 17-22 мая 2011 г. / ВолгГАСУ, Волгоград. 2011. С. 136–142.
6. Хабибуллин Ю. Х., Барышева О. Б. Разработка энергосберегающего устройства приточной вентиляции : сб. ст. Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании – Международной научной конференции / МГСУ. М., 2012. С. 257–260.
7. Christy S., Satheesh A. Energy Efficient Free Cooling System for Data Centers. Third IEEE International Conference on Coud Computing Technology and Science. 2011. January. P. 646–650.
8. Кокорин О. Я., Балмасов М. В. О возможности применения режима «free cooling» в средней полосе России // Холодильная техника. 2012. № 11. С. 10–14.
9. Малявина Е. Г., Фролова А. А., Силаев А. С. Энергетическая и экономическая оценка систем свободного и машинного охлаждения для кондиционируемых помещений офисов // АВОК. 2014. № 2. С. 68–72.
10. Gappazzoli A., Primiceri G. Cooling systems in date centers: state of arts and emerging technologies. 7th International conference on sustainability in energy and buildings. 2015. vol. 83. P. 484–493.
11. Yanga Y., Wangd B., Zhoue O. Air Conditioning System Design using Free Cooling Technology and Running Mode of a Data Center in Jinan. 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning. ISHVAC2017. 19-22 October 2017. Jinan, China. P. 3545–3549.

12. Zhang Y., Wei Z., Zhang M. Free cooling technologies for data centers: energy saving mechanism and applications. World Engineers Summit – Applied Energy Symposium & Forum: Low Carbon Cities & Urban Energy Joint Conference, WES-CUE 2017. December 2017. Vol. 143**.** Singapore. P. 410–415.
13. Gozcu O., Erden H. S. Energy and economic assessment of major free cooling retrofits for data centers in Turkey // Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2019. № 27. P. 2197–2212.

Broyda Vladimir Aronovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: broida@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Dorofeenko Nikolay Sergeevich
design engineer
E-mail: ndorofeenko@yandex.ru
LLC Production Enterprise «TechVent»
The organization address: 421001, Russia, Kazan, Nigmatullina st., 1/47

Efficiency of direct free cooling in an air conditioning system for rooms with significant heat input

Abstract

Problem statement. Free cooling (FC) in the air conditioning system reduces the energy consumption of the compressors of the refrigeration machine, saves the life of the compressors, its widespread implementation is an urgent task. The area of rational use of direct free cooling substantially depends on: the characteristics of the local climate, the requirements for the microclimate of the room, and the heat input to the room in a significant part of the year. The purpose of the study is to identify the effectiveness of direct free cooling, based on a calculation based on generally available climatological information, taking into account the operation of an air cooler, steam humidifier, main fans, performed for the annual cycle of operation of the air conditioning system.

Results. The main results of the study are in the proposed method for assessing the energy efficiency of direct free cooling and the calculations for different climatic regions of Russia, confirming its high efficiency and, therefore, the feasibility of use.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that the use of free cooling systems together and instead of engine cooling systems with a fairly wide range of microclimate requirements is possible for different climatic zones. It is suitable for a large group of rooms with heat and can significantly reduce energy costs for air conditioning.

Keywords: conditioning, free cooling, energy consumption, power, efficiency.

References

1. Kuvshinov Y. Y. Energy conservation in the microclimate system of buildings. M. : Assoziazija stroitelnyh vuzov, 2010. 320 p.
2. Malyavina E. G., Malikova O. Y., Lyfong F. V. The role of detailing the probabilistic-stochastic climate model in the assessment of energy consumption by air conditioning systems // Izvestia Vuzov. Stroitelstvo. 2019. № 1. P. 41–53.
3. Broyda V. A. Saving thermal energy by stabilizing the flow of natural exhaust ventilation // Izvestia Vuzov. Stroitelstvo. 2012. № 10. P. 54–58.
4. Malyavina E. G., Frolova A. A. Calculation of the energetically feasible outdoor temperature for the transition to free cooling of air-conditioned rooms // Izvestia Vuzov. Stroitelstvo. 2012. № 11-12. P. 71–78.

5. Broyda V. A. Comparison of the free cooling efficiency of an air conditioner with air and water cooling of a condenser. The quality of indoor air and the environment. Materials of the IX International Scientific Conference May 17-22, 2011 / VolgGASU, Volgograd. 2011. P. 136–142.
6. Khabibullin Y. K., Barysheva O. B. Development of an energy-saving supply ventilation device : dig of art. Integration, partnership and innovation in construction science and education – International Scientific Conference / MGSU, M., 2012. P. 257–260.
7. Christy S., Satheesh A. Energy Efficient Free Cooling System for Data Centers. Third IEEE International Conference on Coud Computing Technology and Science. 2011. January. P. 646–650.
8. Kokorin O. Y., Balmasov M. V. On the possibility of using the «free cooling» mode in central Russia // Kholodilnaja Refrigeration equipment. 2012. № 11. P. 10-14.
9. Malyavina E. G., Frolova A. A., Silaev A. S. Energy and economic evaluation of free and engine cooling systems for air-conditioned office premises//AVOK. 2014. № 2. P. 68–72.
10. Gappazzoli A., Primiceri G. Cooling systems in date centers: state of arts and emerging technologies. 7th International conference on sustainability in energy and buildings. 2015. vol. 83. P. 484–493.
11. Yanga Y., Wangd B., Zhoue O. Air Conditioning System Design using Free Cooling Technology and Running Mode of a Data Center in Jinan. 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning. ISHVAC2017. 19-22 October 2017. Jinan, China. P. 3545–3549.
12. Zhang Y., Wei Z., Zhang M. Free cooling technologies for data centers: energy saving mechanism and applications. World Engineers Summit – Applied Energy Symposium & Forum: Low Carbon Cities & Urban Energy Joint Conference, WES-CUE 2017. December 2017. Vol. 143**.** Singapore. P. 410–415.
13. Gozcu O., Erden H. S. Energy and economic assessment of major free cooling retrofits for data centers in Turkey // Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2019. № 27. P. 2197–2212.

УДК 621.6
Варсегов Александр Владиславович
инженер
E-mail: alexandervav@mail.ru
ООО «Газпром трансгаз Казань» Инженерно-технический центр
Адрес организации: 420075, Россия, г. Казань, ул. 3-ая Кленовая, д. 25
Варсегова Евгения Владиславовна
кандидат физико-математических наук, доцент
E-mail: evarsegova@yandex.ru
Осипова Лилия Эдуардовна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: osipovalilija@mail.ru
Садыков Ренат Ахатович
доктор технических наук, профессор
E-mail: sadykov_r_a@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Зоны поражения при аварийной разгерметизации газопровода

Аннотация

Постановка задачи. Магистральные газопроводы относят к категории энергонапряженных объектов. С увеличением их срока эксплуатации есть необходимость моделирования аварийных разрывов и анализа распространения поражающих факторов аварии. В статье для участка газопровода высокого давления смоделирован аварийный разрыв и численно решена тестовая задача, которая позволяет рассчитать в зависимости от диаметра газопровода и режима перекачки давление в точке разрыва, высоту выброса и возможную зону загазованности.

Результаты. Был проведен численный эксперимент стационарного истечения газа – метана из газопровода высокого давления. Получены зависимости распределения полного давления и скорости по оси выброса газа. Определена зона возможного токсического воздействия на человека и животных, а также граница зоны потенциального термического воздействия при условии наличия внешних источников зажигания.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что зная параметры свободного струйного истечение газа при возможной аварийной разгерметизации газопровода, можно рассчитать по известным методикам зоны загазованности, что повышает безопасность селитебной застройки при проектировании трассы газовых сетей.

Ключевые слова: газопровод, аварийная разгерметизация, высота выброса, численное моделирование, зона загазованности.

Введение

Природный газ один из наиболее распространенных энергоносителей, а изучение возможных разрывов газопроводов определяет техногенную безопасность энергетических объектов транспорта газа и повышает энергобезопасность населенных пунктов. Анализ эксплуатации трубопроводного транспорта углеводородов проводят многие авторы, систематизируя сведения официальной статистки по авариям Ростехнадзора и отчеты зарубежных организаций таких, как Европейская группа по сбору данных об авариях на газопроводах – EGIG European (Gas Pipeline Incident Data Group), Ассоциация операторов магистральных сухопутных газопроводов Великобритании – UKOPA (United Kingdom Onshore Pipeline Operators' Association) и Ассоциация операторов западноевропейских магистральных нефтепроводов – CONCAWE (CONservation of Clean Air and Water in Europe) [1-2]. Так аварийность на магистральных газопроводах по данным Ростехнадзора составляет $\lambda_{ср}$ = 0,07 ав./(1000 км в год), по данным EGIG $\lambda_{ср}$ = 0,18 ав./(1000 км в год) и по данным UKOPA $\lambda_{ср}$ = 0,105 ав./(1000 км в год). Но зарубежные организации учитывают данные по аварийности на газопроводах малого диаметра, $d \leq 5''$ (125 мм) [2].

В работе [3] рассмотрены методы численного анализа трубопроводного транспорта и режимов безопасной эксплуатации. Газодинамические параметры потока газа в газоопроводе – скорость, плотность и давление определяют размеры зон загазованности, а метеоусловия атмосферы влияют на перемещение образовавшегося газовоздушного облака. Для утилизации аварийных сбросов газов из емкостного оборудования и трубопроводов используют свечи рассеивания. В [4] предложена математическая модель для описания турбулентного распространения аварийного выброса газа через свечи рассеивания, с привлечением программного комплекса ANSYS (Fluent), и разработан экспресс-метод оперативной экологической оценки обстановки с учетом метеоусловий атмосферы.

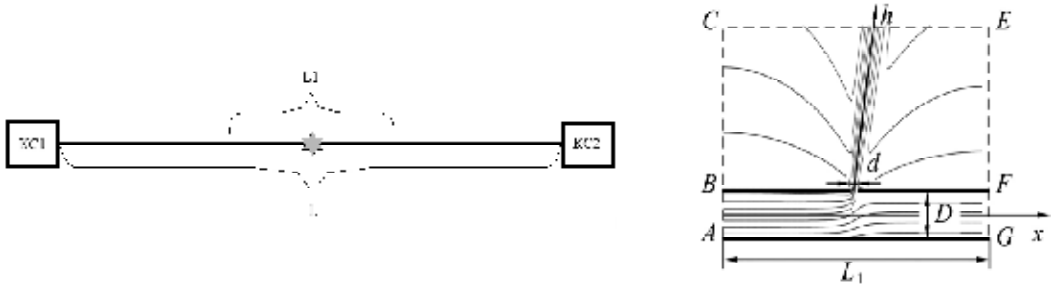
Согласно доступной информации Ростехнадзора в 2018 году на газопроводах произошло 10 аварий, по сравнению с 2017 годом (5 аварий) количество аварий увеличилось в 2 раза. Основной вклад в аварийность на объектах трубопроводного транспорта приходится на линейную часть. В случае аварийной разгерметизации линейной части, разрыв «трещина» или «гильотинный разрыв», современные средства телемеханики и автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) определяют место разрыва и прямые потери. В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) проводят мониторинг, как объектов магистрального транспорта, так и местности. БПЛА мобильны и способны оперативно определять место утечки, прямые потери транспортируемого продукта, а так же выполнять контроль строительно-монтажных работ (СМР) и контроль проведения ликвидации аварийной ситуации. Если разрыв малого размера типа «свищ», то место разрыва по загазованности атмосферы определяют обходчики приборами контроля – газоанализаторами. При этом на пространственно-временное распространение газовоздушного облака в атмосфере влияют метеоусловия и наличие застройки [5-7].

В целом, современные авторы успешно применяют численное моделирование при решении задач струйного истечения газа при разгерметизации трубопроводов [8-10].

Основными параметрами, которые влияют на интенсивность истечения метана, являются внутренний диаметр газопровода, фактическое доаварийное давление газа в точке разрыва и ее местоположение, а также размеры разрыва и время отсечения аварийных участков.

Смоделирован разрыв малого размера $d = 0{,}1$ м, типа «свищ» на газопроводе диаметром $D = 1420$ мм, на участке длиной $L_1 = 10$ м и рабочим давлением транспортировки $P = 7{,}5$ МПа. На рис. 1а представлена схема участка газопровода между компрессорными станциями *КС*1 и *КС*2 длиной *L*. Направление движения газа – слева направо.

Течение газа по газопроводу моделируется в стационарной двухмерной постановке при помощи программного комплекса ANSYS (Fluent)[1]. Геометрия канала представлена на рис. 1б.



а) б)

Рис. 1. Постановка тестовой задачи:
а) схема участка газопровода между компрессорными станциями *КС*1 и *КС*2 длиной L (СТО Газпром 2-2.3-351-2009);
б) фрагмент газопровода в области разрыва (с линиями тока течения) (иллюстрация авторов)

[1]ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2.

Уравнениями газовой динамики для описания стационарных турбулентных течений являются уравнения Навье-Стокса осредненные.

Уравнения движения:

$$v_x\frac{\partial v_x}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_x}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\mu+\mu_T\right)\frac{\partial v_x}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\mu+\mu_T\right)\frac{\partial v_x}{\partial y}\right],$$
$$v_x\frac{\partial v_y}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_y}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\mu+\mu_T\right)\frac{\partial v_y}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\mu+\mu_T\right)\frac{\partial v_y}{\partial y}\right], \quad (1)$$

где v_x, v_y – осредненные по времени проекции вектора скорости на оси координат x и y, соответственно, м/с;

p – осредненное гидродинамическое давление, Па;

$\mu = 1{,}087\cdot10^5$ Па·с – динамический коэффициент вязкости метана;

$\rho = 0{,}679$ кг/м^3 – плотность метана;

μ_T – турбулентная вязкость.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y}=0\cdot \quad (2)$$

Уравнение энергии:

$$v_x\frac{\partial T}{\partial x}+v_y\frac{\partial T}{\partial y}=\frac{\lambda}{c_p\rho}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(a_T\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(a_T\frac{\partial T}{\partial y}\right), \quad (3)$$

где T – осредненная температура, К;

$\lambda = 0{,}0332$ Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности;

$c_p = 2222$ Дж/(кг·К) – теплоемкость;

a_T – турбулентная температуропроводность.

Основная система уравнений движения (1)-(3) замыкалась уравнениями «стандартной» модели турбулентности $k-\varepsilon$ с использованием «стандартных» пристеночных функций при моделировании течения в пограничном слое [7].

Уравнение турбулентной кинетической энергии:

$$v_x\frac{\partial k}{\partial x}+v_y\frac{\partial k}{\partial y}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x}\right]+\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial y}\right]-$$
$$-k\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)+G_k-\varepsilon-Y_M+S_k, \quad (4)$$

где k – кинетическая энергия турбулентности;

ε – диссипация кинетической энергии;

$\mu_T = C_\mu k^2/\varepsilon$; $G_k = \mu_T S^2$;

S – инвариант тензора деформаций;

$Y_M = 2\varepsilon M_T^2$ – вклад переменного расширения при турбулентности сжатия в скорость диссипации;

$M_T = \sqrt{k/a^2}$ – число Маха для турбулентного газа;

$a = \sqrt{\gamma RT} = 436$ м/с – скорость звука при $T = 281{,}7$ К;

$\gamma = 1{,}385$ – показатель адиабаты;

$R = 519$ Дж/(кг·К) – газовая постоянная;

эмпирические константы: $C_\mu = 0{,}09$; $\sigma_\kappa = 1{,}44$.

Уравнение скорости диссипации турбулентной кинетической энергии:

$$v_x\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}+v_y\frac{\partial \varepsilon}{\partial y}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right]+\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial y}\right]-$$
$$-\varepsilon\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}G_k-C_{2\varepsilon}\frac{\varepsilon^2}{k}+S_\varepsilon, \quad (5)$$

где $C_{1\varepsilon} = 1{,}44$; $C_{2\varepsilon} = 1{,}92$; $\sigma_\varepsilon = 1{,}3$.

Уравнения (1)-(5) дополняются следующими граничными условиями (рис. 1 *а*):
- *AB:*

$$p_s = 7{,}5\cdot10^6;\ p = p_s\left(1+\frac{\gamma-1}{2}M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}};\ M = 1{,}64 \text{ при } x = 0 \text{ и } 0 < y < 1{,}420;$$

- *FG*:

$$p = 7{,}5\cdot10^6 \text{ при } x = 10 \text{ и } 0 < y < 1{,}420;$$

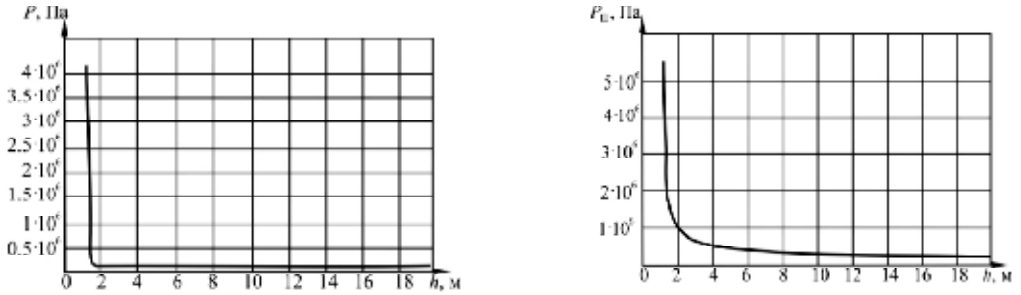
- *BCEF*:

$$p = 101325 \text{ при } x = 0 \text{ и } 1{,}42 < y < 20;$$
$$0 < x < 10 \text{ и } y = 20;$$
$$x = 10 \text{ и } 1{,}42 < y < 20;$$

- *AG*, *BF*:

$$v_x = v_y = 0 \text{ при } 0 < x < 10 \text{ и } y = 0;$$
$$0 < x < 4{,}95 \text{ и } y = 1{,}42;$$
$$5{,}05 < x < 10 \text{ и } y = 1{,}42.$$

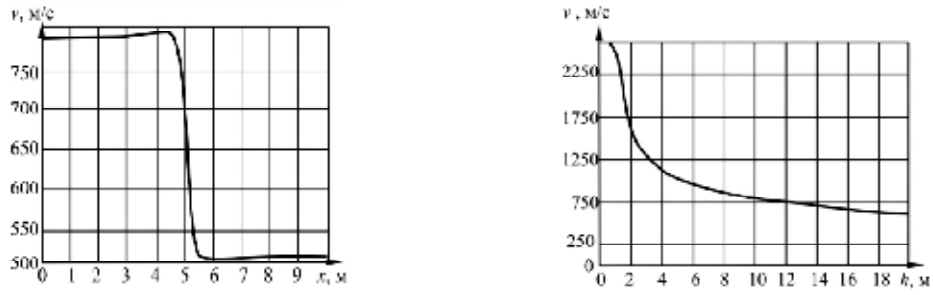
Согласно полученным результатам, если по трубе в стационарном режиме транспортируется $Q_{вх}$ = 646 кг/с метана, то в атмосферу выбрасывается $Q_{выб}$= 232 кг/с, а к потребителю после разрыва доходит только $Q_{пот}$= 414 кг/с. На рис. 2 представлены результаты расчета распределения статического и полного давления по высоте выброса. Как видно из графиков, давление газа в точке разрыва составляет P = 4,3 МПа и примерно на высоте h = 2 м давление равно атмосферному (рис. 2а).



а) б)

Рис. 2. Распределение давления по оси выброса:
а) изменение статического давления по высоте (иллюстрация авторов);
б) изменение полного давления по высоте (иллюстрация авторов)

На рис. 3 показано распределение скоростей по оси выбрасываемой струи и по оси трубопровода. Из-за изменения расхода в газопроводе, скорость газа значительно падает после точки разрыва (рис. 3а), а вот скорость в струе, напротив, остается достаточно высокой даже на высоте h = 20 м (рис. 3б). Скорость газа в точке разрыва составляет $|v|$ = 2662 м/с.



а) б)

Рис. 3. Распределение скоростей:
а) изменение скорости по оси газопровода (иллюстрация авторов);
б) изменение скорости по высоте выброса (иллюстрация авторов)

Параметры свободного струйного истечения природного газа (метана) из поврежденного трубопровода: общий расход, полное давление и скорость потока в точке разрыва, используются при разработке методик ПАО «Газпром» на объектах трубопроводного транспорта.

При аварийной разгерметизации типа «свищ» происходит «прорастание» разрыва по длине диаметра газопровода. С течением времени наблюдается торможение и остановка дальнейшего разрушения газопровода, т.е. образуется разрыв типа «трещина». Если нет источника зажигания, и газ не воспламеняется, то происходит его дисперсия в атмосфере с образованием поражающего фактора аварии – загазованности. Расчет данного поражающего фактора аварии на магистральных газопроводах рекомендует проводить ПАО «Газпром» по методике СТО Газпром 2-2.3-351-2009.

Рассчитаны параметры облака газа, сформированного при истечении сверхзвуковой струи газа. Для критических условий (M = 1 – число Маха) газодинамические параметры потока в выходном сечении (индекс «E») определяются по формулам:

– скорость потока:

$$u_E = a_E = (\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma + 1} \cdot R \cdot T_0)^{1/2}; \quad (6)$$

– плотность потока:

$$\rho_E \equiv \rho_E(t) = \frac{4 \cdot G_E(t)}{a_E \cdot \pi \cdot D^2}; \quad (7)$$

– давление потока:

$$P_E \equiv P_E(t) = \frac{2}{\gamma + 1} \cdot \rho_E(t) \cdot R \cdot T_0 > P_a, \quad (8)$$

где u_E – скорость газа в сечении разрыва, м/с;
a_E – местная скорость звука, м/с;
G_E – расход газа, кг/с;
P_a – атмосферное давление, Па;
T_0 – температура транспортируемого газа в месте разрыва до аварии, К.

После выхода метана из «трещины» газопровода на определенном участке на расстоянии нескольких диаметров трубы происходит превышение статического давления газа над атмосферным. При этом происходит его изоэнтропическое расширение с разгоном потока до сверхзвуковых скоростей (M >1) и формированием системы скачков уплотнения. Для данного участка течения характерна существенная неравномерность потока. При этом из-за наличия скачков уплотнения происходит потеря полного давления. В конце данного участка давление в поперечной плоскости течения выравнивается и становится равным атмосферному. Данное сечение в газовой динамике получило название «ударная плоскость». Значение безразмерной скорости в «ударной плоскости» определяется по формуле:

$$\lambda_S = 1 + \frac{P_E - P_a}{\rho_E \cdot u_E^2}, \quad (9)$$

здесь индекс «s» соответствует параметрам в ударной плоскости.

Значения температуры, числа Маха, плотности и диаметра эквивалентного сечения струи в ударной плоскости рассчитываются, соответственно, по формулам:

$$T_S = T_0 \cdot \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda_S^2\right), \quad (10)$$

$$M_S = \frac{\lambda_S \cdot a_E}{\sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_S}}, \quad (11)$$

$$\rho_S = \frac{P_a}{R \cdot T_S}, \quad (12)$$

$$d_S = D \cdot \sqrt{\frac{\rho_E}{\rho_S \cdot M_S}}. \quad (13)$$

Распределение скорости и объемной концентрации по осевой координате (ξ) на расстояниях, существенно превышающих длину участка расширения, описывается функциями:

– для струй, распространяющихся в неограниченном воздушном пространстве:

$$u_m(\xi) = c_m(\xi) = \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_a}} \cdot \frac{12,4}{\bar{\xi} \cdot \varphi(M_s)}; \quad (14)$$

– для настильных струй, распространяющихся вдоль поверхности земли:

$$u_m(\xi) = c_m(\xi) = \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_a}} \cdot \frac{15,5}{\bar{\xi} \cdot \varphi(M_s)}, \quad (15)$$

где ρ_a – плотность атмосферного воздуха, кг/м^3, а функция $\varphi(M_s)$ определяется следующим образом:

$$\varphi(M_s) = 1 - 0,4 \cdot \sqrt{M_S - 1,2}\ . \quad (16)$$

Безразмерная координата определяется из соотношения:

$$\bar{\xi} = \frac{2 \cdot \xi}{d_s}. \quad (17)$$

По формулам (9)-(17) был проведен расчет. Результаты расчета представлены в таблице.

Таблица

Исходные данные:		
Диаметр газопровода, мм	D	1420
Массовый расход, кг/с	G_E	650
Температура транспортируемого газа в месте разрыва до аварии, К	T_0	283
Результаты расчета:		
Скорость потока в выходном сечении, м/с	u_E	409,12
Плотность газа в выходном сечении, кг/м^3	ρ_E	13,49
Давление газа в выходном сечении, Па	P_E	1698590
Газодинамический параметр скорости в ударной плоскости	λ_S	1,71
Температура газа в ударной плоскости, ^{o}К	T_S	166,2
Число Маха	M_S	2,06
Плотность газа в ударной плоскости, кг/м^3	ρ_S	1,18
Диаметр эквивалентного сечения в ударной плоскости, м	d_S	3,31

Для начального промежутка времени t = 0,25 мин по формуле (14) рассчитана зона загазованности. Длина струи метана в неограниченном воздушном пространстве для соответствующих концентрационных пределов, не превышает 600 м (рис. 4).

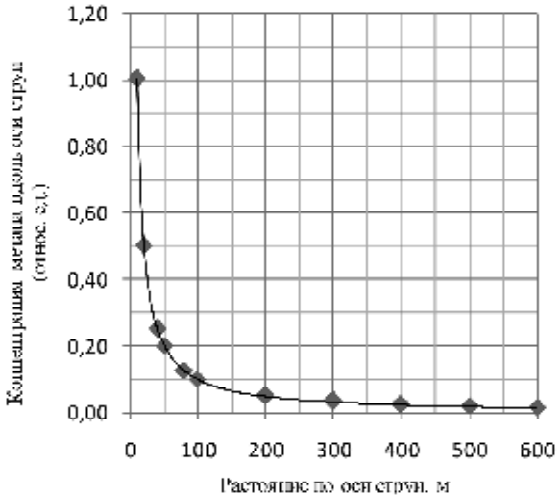


Рис. 4. Длина струи при свободном истечении при сверхкритических параметрах в неподвижную атмосферу при времени истечения t = 0,25 мин (иллюстрация авторов)

При аварии в случае невоспламенения газа происходит его рассеивание в атмосфере с образованием зон загазованности, границы которых рекомендуют определять по двум концентрационным пределам метана. Так концентрация 30 % об. метана определяет границу зоны токсического воздействия на человека и животных, а 5 % об. – границу зоны потенциального термического воздействия при условии наличия внешних источников зажигания. Как видно из рис. 4 зона возможного токсического воздействия на человека и животных с концентрацией 30 % об. метана соответствует расстоянию примерно 50 метров. А 5 % об. – граница зоны потенциального термического воздействия при условии наличия внешних источников зажигания составляет 300 метров.

Заключение

Используя пакет программы ANSYS (Fluent), смоделирован аварийный разрыв газопровода малого размера. Был проведен численный эксперимент стационарного истечения газа – метана из газопровода высокого давления (P = 7,5 МПа) и D = 1420 мм. Получены зависимости распределения полного давления и скорости по оси выброса газа. Результаты расчётов представлены наглядно в графической форме.

Результаты численного исследования позволяют разработать многовариантную тестовую задачу по аварийной разгерметизации газопроводов, что актуально при решении прикладных задач анализа риска при проектировании газопроводов.

Список библиографических ссылок

1. Кушнарева О. В., Голубаев Д. В. Анализ причин аварий на объектах магистрального транспорта нефти и газа: проблемы и решения // MASTER`S JOURNAL. 2018. № 1. С. 37–43.
2. Лисанов А. М. Сравнение и анализ отечественных и зарубежных данных по аварийности на объектах магистрального трубопроводного транспорта : сб. ст. Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 20-летию принятия Федерального закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» / Москва, 2017. С. 155–158.
3. Селезнев В. Е., Алешин В. В., Прялов С. Н. Основы численного моделирования магистральных трубопроводов. М. : МАКС Пресс, 2009. 436 с.
4. Купцов А. И., Гимранов Ф. М. Свеча рассеивания: основы расчета. Казань : АН РТ, 2018. 136 с.
5. Ортина М. Н., Купцов А. И., Гимранов Ф. М. Математическое моделирование рассеивания облаков тяжелых газов в условиях промышленной застройки: влияние метеоусловий // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 10. С. 115–118.
6. Santos J. M., Reis Jr. N. C., Goulatr E. V., Mavroidis I. Numerical simulation of flow and dispersion around an isolated cubical building: The effect of the atmospheric stratification // Atmospheric Environment. 2009. № 43. P. 5484–5492.
7. Tauseef S. M., Rashtchian D. R., Abbasi S. A. CFD based simulation of dense gas dispersion in presence of obstacles // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2011. № 24. P. 371–376.
8. Зиганшин А. М., Батрова К. Э., Гимадиева Г. А. Численное определение характеристик течения через последнее боковое отверстие в воздуховоде // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 7 (715). С. 53–65.
9. Pieterse J. E., Harms T. CFD investigation of the atmospheric boundary layer under different thermal stability conditions // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2013. Vol. 121. P. 82–97.
10. Russell A. Computational fluid dynamics modeling of atmospheric flow applied to wind energy research : A thesis Master of Science in Mechanical Engineering. Boise State University, December, 2009. P. 19–25.

Varsegov Alexander Vladislavovich
engineer
E-mail: alexandervav@mail.ru
LLC «Gazprom Transgaz Kazan» Engineering Technical Center
The organization address: 420075, Russia, Kazan, 3d Klenovaya st., 25
Varsegova Evgeniya Vladislavovna
candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
E-mail: evarsegova@yandex.ru
Osipova Liliya Eduardovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: osipovalilija@mail.ru
Sadykov Renat Akhatovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: sadykov_r_a@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Areas of damage during emergency on the gas pipeline

Abstract

Problem statement. Main gas pipelines are classified as energetically stressed objects. With the increase in their service life, there is a need to model an emergency breaks and analyze the distribution of the damaging factors of the accident. In the article, the emergency rupture was simulated for a section of a high pressure gas pipeline and a test problem was numerically solved, which allows calculating the pressure at the rupture point, the discharge height, and the possible gas zone depending on the diameter of the gas pipeline and the pumping mode.

Results. A numerical experiment was conducted on a stationary outflow of gas – methane from a high pressure gas pipeline. The dependences of the distribution of the total pressure and velocity along the axis of the gas ejection are obtained. The zone of possible toxic effects on humans and animals, as well as the boundary of the zone of potential thermal effects, provided that there are external sources of ignition, are determined.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that, knowing the parameters of free jet gas outflow during a possible emergency depressurization of the gas pipeline, it is possible to calculate the gas zone by the known methods, which increases the safety of residential buildings during the design of gas pipelines.

Keywords: gas pipeline, emergency depressurization, discharge height, numerical simulation, gas zone.

References

1. Kushnaryova O. V., Golubaev D. V. Analysis of causes of accident on midstream operations facilities: challenges and solutions // MASTER`S JOURNAL. 2018. № 1. P. 37–43.
2. Lisanov A. M. Comparison and analysis of domestic and foreign accident data at the main pipeline transport facilities : dig. of art. All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 20th anniversary of the adoption of Federal Law №. 116-FZ «On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities» / Moskow, 2017. P. 155–158.
3. Seleznev V. E., Aleshin V. V., Pryalov S. N. Fundamentals of numerical modeling of trunk pipelines. M. : MAKS Press, 2009. 436 p.
4. Kuptsov A. I., Gimranov F. M. Candle of dispersion: calculation basics. Kazan : AS RT, 2018. 136 p.
5. Ortina M. N., Kuptsov A. I., Gimranov F. M. Mathematical modeling of dispersion of clouds of heavy gases in industrial conditions: the influence of weather conditions // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2017. Vol. 20, № 10. P. 115–118.

6. Santos J. M., Reis Jr. N. C., Goulatr E. V., Mavroidis I. Numerical simulation of flow and dispersion around an isolated cubical building: The effect of the atmospheric stratification // Atmospheric Environment. 2009. № 43. P. 5484–5492.
7. Tauseef S. M., Rashtchian D. R., Abbasi S. A. CFD based simulation of dense gas dispersion in presence of obstacles // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2011. № 24. P. 371–376.
8. Ziganshin A. M., Batrova K. E., Gimadieva G. A. Numerical determination of flow characteristics through the last lateral opening in the air duct // Izvestiya vysschih ychebnykh zavedeniy. Stroitelstvo 2018. № 7 (715). P. 53–65.
9. Pieterse J. E., Harms T. CFD investigation of the atmospheric boundary layer under different thermal stability conditions // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2013. Vol. 121. P. 82–97.
10. Russell A. Computational fluid dynamics modeling of atmospheric flow applied to wind energy research : A thesis Master of Science in Mechanical Engineering. Boise State University, December, 2009. P. 19–25.

УДК 697.442
Крутова Ираида Александровна
инженер-технолог
E-mail: iraida_knyazeva@mail.ru
Ассоциация «Вятский лазерный инновационно-технологический центр»
Адрес организации: 610004, Россия, г. Киров, ул. Заводская, д. 1
Золотоносов Яков Давидович
доктор технических наук, профессор
E-mail: zolotonosov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Змеевиковые теплообменники типа «труба в трубе» на базе пружинно-витых каналов

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования данной работы является проведение расчетов змеевиковых теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» с изменяющимся радиусом изгиба винтовой спирали на базе пружинно-витых каналов и оценка энергетической эффективности таких аппаратов.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что авторами в ходе работы был разработан алгоритм расчета змеевиковых теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» с изменяющимся радиусом изгиба винтовой спирали на базе пружинно-витых каналов, реализованный в системе MATLAB, определены геометрические размеры и теплогидродинамические показатели змеевиковых аппаратов.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности применения для технологических нужд современного более эффективного и компактного теплообменного оборудования и в обосновании этого выбора. Так, при равных исходных данных, конические теплообменники на базе пружинно-витых каналов являются более эффективными по сравнению с коническими и цилиндрическими змеевиками с теплообменным элементом в виде гладкой трубы, т.к. для достижения необходимых теплогидродинамических показателей они имеют меньшую поверхность теплообмена.

Ключевые слова: теплообмен, теплообменный аппарат, пружинно-витой канал, змеевик, винтовая труба.

Введение

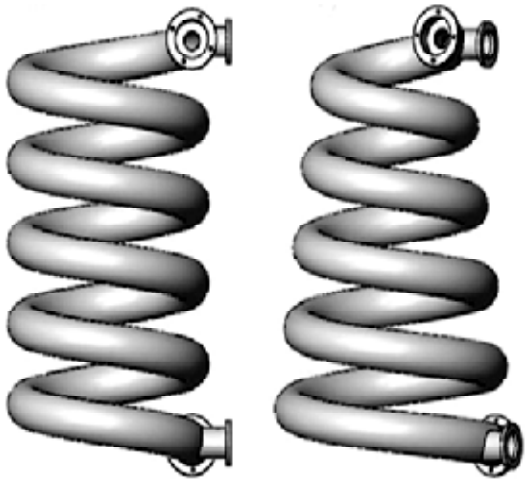
Эффективность и надежность работы теплообменных аппаратов оказывает существенное влияние на экономические показатели многих технологических процессов, поэтому вопросам разработок по их совершенствованию необходимо уделять большое внимание. Развитие теплообменного оборудования ставит целью снижение расхода материалов для их изготовления путем уменьшения массогабаритных показателей, либо экономию топлива (теплоты) на действующих установках в условиях эксплуатации.

При необходимости интенсификации теплопередачи и создания компактных теплообменных аппаратов широко применяется оребрение поверхности с целью ее развития со стороны теплоносителя интенсивность теплоотдачи которого ниже и подлежит увеличению. Наружное оребрение труб применяется чаще, так как внутреннее технологически сложнее и достигнутое здесь увеличение теплообменной поверхности сравнительно невелико.

Разработка компактных теплообменных аппаратов является одним из основных направлений развития теплообменного оборудования, так как обеспечивает значительную экономию топлива, металлов и затрат труда [1]. Решение этой задачи возможно благодаря широкому внедрению эффективных методов интенсификации теплообмена в каналах при разработке и производстве теплообменных аппаратов [1-3].

Пример расчета змеевикового аппарата на базе пружинно-витого канала

На сегодняшний день авторами работы предложена серия змеевиковых теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» различной конфигурации на базе пружинно-витых каналов, рис. [4].



а) б)

Рис. Внешний вид змеевиковых теплообменников типа «труба в трубе»:
а) цилиндрический; 6) конический [4]

Данное решение обусловлено тем, что в змеевиковых каналах со сложной геометрией возникают вторичные течения, интенсифицирующие теплообмен, а двухстороннее оребрение внутреннего теплообменного элемента обеспечивает существенное увеличение теплообменной поверхности и уменьшение габаритных размеров теплообменников.

В работе [5] был проведен расчет и дана оценка эффективности змеевиковых аппаратов с изменяющимся радиусом изгиба винтовой спирали для однотрубных и секционных змеевиков с гладкой трубой, их сравнение с цилиндрическим змеевиковым теплообменником. Было установлено, что поверхность теплообмена конических змеевиков снижается на 8-15 %.

На основании раннее проведенных исследований предлагается совершенствование теплообменного оборудования путем его модернизации и замены на теплообменные аппараты типа «труба в трубе» с теплообменным элементом на базе пружинно-витого канала, имеющего двухстороннее оребрение.

Тем не менее, чтобы предложить оборудование такого рода необходимо провести оценку эффективности его работы по сравнению с уже известными аналогами. С этой целью произведем инженерный расчет теплообменных аппаратов и определим их теплогидродинамические характеристики.

Рассмотрим цилиндрический водо-водяной змеевиковый теплообменник типа «труба в трубе» (рис. а), диаметр которого равен $D_{зм} = 600$ мм.

Греющая вода движется по пружинно-витому каналу, изготовленному из проволоки диаметром 2 мм. Диаметр пружинно-витого канала по средней линии равен $d_1 = 15$ мм. Температура греющей воды на входе равна $t'_{g1} = 70$ °С, расход греющей воды составляет $G_1 = 945$ кг/ч.

Нагреваемая вода движется по межтрубному пространству в противоток. Согласно нормативам, в отопительный период температура подаваемой холодной воды должна быть не ниже 5 °С, а температура, поступающая потребителю, не ниже 60 °С, так как по данным, приведенным в работе [6], это может привести к развитию инфекций и бактерий, что не отвечает условиям санитарно-технической безопасности, и нагревается от $t'_{g2} = 5$ °С до $t''_{g2} = 65$ °С. Расход нагреваемой воды составляет $G_2 = 787$ кг/ч. Внутренний диаметр внешней трубы $D = 35$ мм. Теплоемкость воды $c_p \approx 4{,}19$ кДж/(кг·°С).

Прежде всего, необходимо определить количество передаваемой теплоты Q:

$$Q=G_2c_{p1}\left(t''_{g2}-t'_{g2}\right)=\frac{787}{3600}4{,}19(65-5)=54{,}95\ \text{кВт}. \quad (1)$$

Тогда температура греющей воды на выходе равна:

$$t''_{g1}=t'_{g1}-\frac{Q}{G_1c_{p1}}=70-\frac{54{,}95\cdot 3600}{945\cdot 4{,}19}=20\ ^\circ\text{C}. \quad (2)$$

Среднеарифметические значения температур теплоносителей и значения физических свойств воды при этих температурах имеют значения:

– в трубном пространстве:

$$t_{g1}=0{,}5\cdot(t'_{g1}+t''_{g1})=0{,}5\cdot\ (70+20)=45\ ^\circ\text{C}; \quad (3)$$

– в межтрубном пространстве:

$$t_{g2}=0{,}5\cdot(t'_{g2}+t''_{g2})=0{,}5\cdot\ (5+65)=35\ ^\circ\text{C}. \quad (4)$$

Физические свойства воды при данных температурах приведены в табл. 1 [7].

Таблица 1

Физические свойства воды в трубном и межтрубном пространстве

t, °C	ρ, кг/м^3	Pr	ν, м^2/с	λ, Вт/(м °c)
45	990	3,924	$0{,}601\cdot10^{-6}$	0,637
35	994	4,833	$0{,}723\cdot10^{-6}$	0,623

Так как внутренний теплообменный элемент выполнен в виде пружинно-витого канала, то в расчетах следует применять его эквивалентный диаметр, определению которого посвящены работы [8-9].

Ранее авторами, в работе Вачагиной Е.К., Золотоносова Я.Д., Мустакимовой С.А., Крутовой И.А. Определение эквивалентного диаметра пружинно-витых труб // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (37). С. 188–194, предложена формула для определения эквивалентного диаметра пружинно-витого канала:

$$d_{экв}\approx\left(\frac{d}{2}\right)k\frac{-3\pi^5k-6\pi^3k^3+6\pi k^4-3\pi k^5+6\pi^2k^4(2+k^2)+\pi^4(6+4k^2)}{3\pi^3(\pi^2+k^2)^{1/2}\int\limits_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\left(1+\left(\frac{k}{\pi}\right)^2-k\cos\nu\right)\sqrt{1+2\left(\frac{k}{\pi}\right)^2+k\cos(2\nu)}d\nu}, \quad (5)$$

где ν, k – геометрический параметр поверхности, k = d / D;

d/2 – расстояние от центральной винтовой линии – оси проволоки до центра трубы.

В работе [8] предлагается расчет эквивалентного диаметра трубного и межтрубного пространства пружинно-витого канала по следующим формулам:

$$d_{экв}=\left(\frac{4V}{F}\right)=\frac{2(6r_0^2-3\pi\tilde{n}r_0+4c^2)}{3\pi(r_0-2c)}, \quad (6)$$

$$d_{экв}^{мтр}=\left(\frac{4V}{F}\right)=\frac{2(6R_0^2-6r_0^2+3\pi\tilde{n}r_0+4c^2)}{3(\pi r_0+2c+2R_0)}, \quad (7)$$

где R_o – радиус внешней трубы, м;

r_o – радиус пружинно-витого канала, м;

c – радиус проволоки, м;

n – количество витков.

Численное определение эквивалентного диаметра пружинно-витого канала показало, что предложенные варианты расчета согласуются между собой, результаты отличаются не более чем на 6 %.

В результате расчетов получилось: $d_{экв}$ = 0,0138 м.

Скорости движения теплоносителей равны:

– в трубном пространстве:

$$w_1=\frac{4G_1}{\rho_{g1}\pi d_{эк}^2 3600}=\frac{4\cdot 945}{990\cdot 3{,}14\cdot\left(1{,}38\cdot 10^{-2}\right)^2\cdot 3600}=1{,}76\ \text{м/с};\qquad (8)$$

– в межтрубном пространстве:

$$w_2=\frac{4G_2}{\rho_{g2}\pi\left(D^2-d_{экв}^2\right)3600}=\frac{4\cdot 787}{994\cdot 3{,}14\cdot\left(3{,}5^2-1{,}38^2\right)\cdot 10^{-4}\cdot 3600}=0{,}37\ \text{м/с}.\qquad (9)$$

Для определения режима течения жидкости определим число Рейнольдса.

Число Рейнольдса для потока греющей воды определяется по формуле:

$$Re_{g1}=\frac{w_1 d_{эк}}{v_{g1}}=\frac{1{,}76\cdot 1{,}38\cdot 10^{-2}}{0{,}601\cdot 10^{-6}}=4{,}04\cdot 10^4.\qquad (10)$$

Режим течения греющей воды турбулентный, соответственно, число Нуссельта рассчитывается по следующей формуле:

$$Nu_{g1}=0{,}021 Re_{g1}^{0,8} Pr_{g1}^{0,43}\left(\frac{Pr_{g1}}{Pr_{c1}}\right)^{0,25}.\qquad (11)$$

Так как температура стенки неизвестна, то в первом приближении задаемся значением:

$$t_c\approx 0{,}5\cdot(t_{g1}+t_{g2})=0{,}5\cdot\ (45+35)=40\ ^\circ\text{C}.\qquad (12)$$

При данной температуре число Прандтля равно $Pr_{c1}=4{,}379$, тогда согласно формуле (11) число Нуссельта принимает значение:

$$Nu_{g1}=0{,}021\left(4{,}04\cdot 10^4\right)^{0,8}\left(3{,}924\right)^{0,43}\left(\frac{3{,}924}{4{,}379}\right)^{0,25}=179.$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к нагреваемой воде равен:

$$\alpha_1=Nu_{g1}\frac{\lambda_{g1}}{d_{экв}}.\qquad (13)$$

Расчет теплоотдачи в криволинейном канале производится по формулам для прямолинейного канала, но с учетом поправочного коэффициента [10]:

$$\alpha_{кр}=\varepsilon\cdot\alpha_{пр},\qquad (14)$$

где $\alpha_{кр}$, $\alpha_{пр}$ – коэффициенты теплоотдачи в криволинейном и прямом канале, Вт/(м$^2\cdot$°С);

ε – поправочный коэффициент.

Поправочный коэффициент может быть рассчитан по формуле:

$$\varepsilon=1+3{,}54\frac{d_{экв}}{2R},\qquad (15)$$

здесь R – радиус кривизны канала, м.

Тогда коэффициент теплоотдачи с учетом поправочного коэффициента (Иешке) равен:

– для трубного пространства:

$$\alpha_1=(1+3{,}54\cdot(\frac{0{,}0138}{0{,}6}))\cdot 179\cdot\frac{0{,}637}{0{,}0138}=8898{,}2\ \text{Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{С)}.$$

Число Рейнольдса для потока нагреваемой воды в межтрубном пространстве равно:

$$Re_{g2}=\frac{w_2 d_{экв}^{мтр}}{v_{g2}}=\frac{0{,}37\cdot 0{,}0218}{0{,}723\cdot 10^{-6}}=1{,}09\cdot 10^4,\qquad (16)$$

где $d_{экв}^{мтр}$ – эквивалентный диаметр пружинно-витого канала в межтрубном пространстве.

Так как режим течения нагреваемой воды турбулентный, то произведем расчет числа Нуссельта и коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве по формулам:

$$Nu_{g2}=0{,}017 Re_{g2}^{0,8} Pr_{g2}^{0,4}\left(\frac{Pr_{g2}}{Pr_{c2}}\right)^{0,25}\left(\frac{D}{d_{экв}^{мтр}}\right)^{0,18}.\qquad (17)$$

Если принять, что $t_{c2} \approx t_{c1}$ и, следовательно, $Pr_{c2} \approx Pr_{c1} \approx 4{,}379$, то получим:

$$\mathrm{Nu}_{g2} = 0{,}017\left(1{,}09 \cdot 10^4\right)^{0{,}8} (4{,}833)^{0{,}4} \left(\frac{4{,}833}{4{,}379}\right)^{0{,}25} \left(\frac{35}{13{,}8}\right)^{0{,}18} = 188 .$$

Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке трубы принимает значение:

$$\alpha_2 = (1+3{,}54 \cdot (\frac{0{,}035}{0{,}6})) \cdot 188 \cdot \frac{0{,}623}{0{,}0218} = 6676{,}9 \ \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Коэффициент теплопередачи рассчитывается как:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2} + r_т} = \frac{1}{\frac{1}{8898{,}2} + \frac{0{,}2 \cdot 10^{-2}}{45} + \frac{1}{6676{,}9} + 0{,}00026} = 3261{,}6 \ \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}. \quad (18)$$

Так как в рассматриваемом случае:

$$\frac{t'_{g2} - t''_{g1}}{t''_{g2} - t'_{g1}} = \frac{70\text{-}65}{20\text{-}5} = 0{,}34 < 1{,}5 ,$$

то с достаточной степенью точности можно вести расчет по среднеарифметической разности температур:

$$\Delta t_a = t_{g1} - t_{g2} = 45 - 35 = 10 \ \text{°C}. \quad (19)$$

В этом случае плотность теплового потока будет равна:

$$q = k \cdot \Delta t_a = 3261{,}6 \cdot 10 = 32616{,}0 \ \text{Вт/м}^2. \quad (20)$$

Площадь поверхности нагрева равна:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{54876}{32616} = 1{,}6942 \ \text{м}^2. \quad (21)$$

Длина змеевика определяется следующим образом:

$$l = \frac{F}{\pi \cdot d_1} = \frac{1{,}6942}{3{,}14 \cdot 0{,}015} = 34{,}98 \ \text{м}. \quad (22)$$

Пусть расстояние между витками змеевика h = 70 мм, тогда длина витка змеевика равна:

$$l_1 = \sqrt{(\pi \cdot D_{zm})^2 + h^2} = \sqrt{(3{,}14 \cdot 0{,}6)^2 + 0{,}07^2} = 1{,}88 \ \text{м}. \quad (23)$$

Тогда количество витков змеевика определяется как:

$$m = \frac{l}{l_1} = \frac{35}{1{,}89} = 21 \ \text{шт}. \quad (24)$$

Температуры поверхностей стенок трубы равны:

$$t_{c1} = t_{g1} + \frac{q}{\alpha_1} = 35 + \frac{32616}{8898{,}2} = 39 \ \text{°C}; \quad (25)$$

$$t_{c2} = t_{g2} - \frac{q}{\alpha_2} = 45 - \frac{32616}{6676{,}9} = 40{,}1 \ \text{°C}. \quad (26)$$

При полученных температурах число Прандтля соответственно равно $Pr_{c1} = 4{,}432$, $Pr_{c2} = 4{,}341$.

Поправки на изменение физических свойств жидкости по сечению потока имеют следующие значения:

$$\left(\frac{\mathrm{Pr}_{g1}}{\mathrm{Pr}_{c1}}\right)^{0{,}25} = \left(\frac{3{,}924}{4{,}432}\right)^{0{,}25} = 0{,}97 \ \text{(значение в расчете 0,973)};$$

$$\left(\frac{\mathrm{Pr}_{g2}}{\mathrm{Pr}_{c2}}\right)^{0{,}25} = \left(\frac{4{,}833}{4{,}341}\right)^{0{,}25} = 1{,}027 \ \text{(значение в расчете 1,025)}.$$

Совпадение достаточно точное; можно принять что F = 1,7 м^2.

Инженерный расчет змеевикового теплообменного аппарата с изменяющимся радиусом изгиба винтовой спирали проводится аналогично с применением метода температурных интервалов. Алгоритм расчета заключается в том, что перепад температур нагреваемой жидкости разбивается на равные интервалы. Далее на каждом температурном

интервале определяется температура на выходе для греющего теплоносителя и количество передаваемой теплоты Q_i, производится расчет коэффициентов теплоотдачи α_{1i}, α_{2i}, теплопередачи k_i, поверхность теплообмена F_i, в конце расчета полученные данные суммируются и вычисляются параметры теплообменника.

Анализ полученных результатов

Результаты вычислений характеристик для однотрубных змеевиковых теплообменников на базе пружинно-витых каналов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики змеевиковых аппаратов

Параметр	Цилиндрический змеевик с гладкой трубой	Цилиндрический змеевик с пружинно-витым каналом	Конический змеевик с пружинно-витым каналом
d_1, м	0,015	0,015	0,015
D, м	0,035	0,035	0,035
$D^1_{зм}$, м	0,6	0,6	0,6
$D^N_{зм}$, м	0,6	0,6	0,35
G_1, кг/ч	945	945	945
G_2, кг/ч	787	787	787
Q, кВт	54,9	54,9	54,9
α_1, Вт/(м^2·°С)	$7{,}74 \cdot 10^3$	$8{,}89 \cdot 10^3$	$9{,}71 \cdot 10^3$
α_2, Вт/(м^2·°С)	$6{,}53 \cdot 10^3$	$6{,}67 \cdot 10^3$	$7{,}83 \cdot 10^3$
k, Вт/(м^2·°С)	$3{,}06 \cdot 10^3$	$3{,}26 \cdot 10^3$	$3{,}64 \cdot 10^3$
F, м^2	2,0	1,69	1,51
l, м	42,27	34,98	32,04

Из данных табл. 2 видно, что, при одних и тех же исходных данных, конический змеевиковый теплообменный аппарат обладает наименьшей площадью, на 24 % меньше, чем цилиндрический змеевик с гладкой трубой и на 11 % меньше по сравнению с цилиндрическим змеевиком на базе пружинно-витого канала. Снижение поверхности теплообмена ведет к сокращению затрат на материалы, и, соответственно, является предпосылкой к снижению стоимости теплообменного аппарата.

Дальнейшая работа авторов связана с исследованием течения вязкой жидкости в коническом змеевиковом теплообменном аппарате на базе пружинно-витого канала с применением компьютерных программ, в частности, программы, предложенной в работе [11].

Заключение

Анализ результатов расчета змеевиковых теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» на базе пружинно-витых каналов и гладких труб, реализованный в системе MATLAB, показывает, что использование пружинно-витого канала в качестве теплообменного элемента повышает эффективность процесса теплообмена. Конические теплообменники на базе пружинно-витых каналов являются более эффективными по сравнению с цилиндрическими змеевиками, так как для достижения необходимых показателей они имеют наименьшую поверхность теплообмена. Полученные результаты могут быть использованы для технико-экономического обоснования проекта по модернизации имеющегося парка теплообменного оборудования и внедрения теплообменных аппаратов на базе пружинно-витых каналов.

Список библиографических ссылок

1. Hesselgreaves J. E., Richard Law, David A. Reay. Compact heat exchangers: Selection, design a. operation : Elsevier, 2016. 502 p.
2. Kakac S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. Heat exchangers: selection, rating, and thermal design : CRC press, 2012.

3. Гортышов Ю. Ф., Попов И. А., Олимпиев В. В., Щелчков А. В., Каськов С. И. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования. Интенсификация теплообмена. Казань : Центр инновационных технологий, 2009. 530 с.
4. Золотоносов Я. Д., Багоутдинова А. Г., Змеевиковые теплообменники. Моделирование, расчет. Казань : КГАСУ, 2016. 245 с.
5. Багоутдинова А. Г., Золотоносов Я. Д. Расчет и оценка эффективности змеевиковых теплообменников типа «труба в трубе» с изменяющимся радиусом изгиба винтовой спирали // Известия вузов. Строительство. 2017. № 1. С. 98–107.
6. Барон В. Г. О минимально необходимой температуре воды горячего водоснабжения // СОК. 2016. № 1. С. 26–28.
7. Александров А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. М. : МЭИ, 2003. 158 с.
8. Багоутдинова А. Г. Определение эквивалентного диаметра трубного и межтрубного пространства в теплообменном аппарате с пружинно-витым каналом // Известия вузов. Строительство. 2019. № 1. С. 72–81.
9. Vinodkumar, Kiran Voonna, Tharakeshwar T. K. Improvement of Heat Transfer Coefficients in a Shell and Helical Tube Heat Exchanger Using Water/Al_2O_3 // Nanofluid. Internalional Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 20l5. V. 2. № 3. P. 213.
10. Долгов А. Н., Золотоносов А. Я., Золотоносов Я. Д. Определение коэффициентов теплопередачи через стенку пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов // Труды Академэнерго. 2008. № 3. С. 13–25.
11. Горская Т. Ю., Галимянов А. Ф., Галимянов Ф. А. Численная реализация задачи гидродинамики в осесимметрическом канале // Вестник технологического университета. 2019. № 7 (22). С. 120–124.

Krutova Iraida Alexandrovna
process engineer
E-mail: iraida_knyazeva@mail.ru
Association «Vyatka Laser Innovation and Technological Center»
The organization address: 610004, Russia, Kirov, Zavodskaya st., 1
Zolotonosov Yakov Davidovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: zolotonosov@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Pipe-in-pipe coil heat exchangers based on spring-twisted channels

Abstract

Problem statement. The aim of the study of this work is to carry out calculations of coil heat exchangers of the pipe-in-pipe type with a varying bend radius of a helical spiral based on spring-twisted channels and to evaluate the energy efficiency of such devices.

Results. The main results of the study consist in the fact that during the course of the work the authors developed an algorithm for calculating of coil heat exchangers of the pipe-in-pipe type with a varying bending radius of a helical spiral based on spring-twisted channels, implemented in the MATLAB system, determined the geometric dimensions and thermo-hydrodynamic parameters of coil apparatuses.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the possibility of applying for the technological needs of modern, more efficient and compact heat exchange equipment and the rationale for this choice. Therefore, with equal initial data, conical heat exchangers based on spring-twisted channels are more efficient compared to conical and cylindrical coils with a heat exchanger element in the form of a smooth pipe, since they have a smaller heat exchange surface to achieve the necessary thermo-hydrodynamic indicators.

Keywords: heat transfer, heat exchanger, spring- twisted channel, coil, screw pipe.

References

1. Hesselgreaves J. E., Richard Law, David A. Reay. Compact heat exchangers: Selection, design a. operation : Elsevier, 2016. 502 p.
2. Kakac S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. Heat exchangers: selection, rating, and thermal design : CRC press, 2012.
3. Gortyshov Yu. F., Popov I. A., Olimpiev V. V., Schelchkov A. V., Kaskov S. I. Thermohydraulic efficiency of promising methods of heat transfer intensification in the channels of heat-exchange equipment. Intensification of heat transfer. Kazan : Tsentr innovatsionnykh tekhnologiy, 2009. 530 p.
4. Zolotonosov Ya. D., Bagoutdinova A. G., Coil heat exchangers. Modeling, calculation. Kazan : KGASU, 2016. 245 p.
5. Bagoutdinova A. G., Zolotonosov Ya. D. Calculation and evaluation of the efficiency of coil heat exchangers of the «pipe in pipe» type with a varying bend radius of a helical spiral // Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo. 2017. № 1. P. 98–107.
6. Baron V. G. On the minimum required temperature of hot water supply // SOK. 2016. № 1. P. 26–28.
7. Aleksandrov A. A. Tables of thermophysical properties of water and water vapor: a Handbook. M. : MPEI, 2003. 158 p.
8. Bagoutdinova A. G. Determination of the equivalent diameter of the pipe and annular space in a heat exchanger with a spring-twisted channel // Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo. 2019. № 1. P. 72–81.
9. Vinodkumar, Kiran Voonna, Tharakeshwar T. K. Improvement of Heat Transfer Coefficients in a Shell and Helical Tube Heat Exchanger Using Water/Al_2O_3 // Nanofluid. Internalional Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2015. V. 2. № 3. P. 213.
10. Dolgov A. N., Zolotonosov A. Ya., Zolotonosov Ya. D. Determination of heat transfer coefficients through the wall of spring-coiled channels of heat exchangers // Trudy Akademenergo. 2008. № 3. P. 13–25.
11. Gorskaya T. Yu., Galimyanov A. F, Galimyanov F. A. Numerical implementation of the hydrodynamic problem in an axisymmetric channel // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2019. № 7 (22). P. 120–124.

УДК 662.611
Таймаров Михаил Александрович
доктор технических наук, профессор
E-mail: taimarovma@yandex.ru
Казанский государственный энергетический университет
Адрес организации: 420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
Лавирко Юрий Васильевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: lav.yu55@gmail.com
Садыков Ренат Ахатович
доктор технических наук, профессор
E-mail: sadykov_r_a@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Энергосбережение в технологии получения этилового биодизельного топлива из семян рапса

Аннотация

Постановка задачи. Замена углеводородных топлив из нефти на топлива, получаемые из растительного маслосодержащего сырья, является важной народнохозяйственной задачей. Растительное маслосодержащее сырье, к числу которого относятся семена рапса, является возобновляемым. К основным трудностям в технологии получения биодизельного рапсового топлива следует отнести использование опасного для здоровья человека метилового спирта. Поэтому в настоящее время разрабатываются технологии по замене метилового спирта на безопасный этиловый спирт. Целью исследования является определение эффективности подвода теплоты в виде перегретого пара от котла, сжигающего жмых после отжима рапсового масла в прессе. Задача: комплексное использование рапсового жмыха как топлива.

Результаты. Спирт предназначен для выполнения реакции переэтерификации, заключающейся в получении этиловых жирных кислот из рапсового масла с выделением глицерина. Температуры кипения метилового и этилового спирта соответственно равны 64,7 °С и 78,4 °С. Этиловый спирт, по сравнению с метиловым, менее активен в реакции переэтерификации. Поэтому температура нагрева реактора для получения этиловых жирных кислот при реакции переэтерификации в соответствии с температурой кипения этилового спирта может быть выше, по сравнению с метиловым спиртом, в среднем на 10 °С. Обычно в технологиях получения рапсового биодизельного топлива используется теплота от внешнего источника тепла. Поэтому технология, предлагаемая в настоящей работе, с подводом теплоты к реактору переэтерификации от встроенного котла, сжигающего рапсовый жмых, является эффективной и позволяет получить экономию теплоты.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что рапсовый жмых, получаемый на стадии прессования, может быть использован для производства во встроенном котле перегретого водяного пара с целью его подачи внешним потребителям. Исследованные тепловые балансы при прессовании и реакциях синтеза 1000 кг этилового биодизельного топлива показали, что в достаточном количестве необходимая теплота для синтеза может быть выработана в котле при сжигании жмыха, получаемого от прессования 3063 кг рапсовых семян.

Ключевые слова: биодизельное топливо, нагрев, этерификация, этиловый, спирт, кавитация, растительные масла, рапс, технология, катализатор.

Введение

Производство топлива в больших объемах для двигателей внутреннего сгорания из возобновляемого исходного растительного сырья является приоритетной задачей для промышленности [1-6]. Решение этой задачи в традиционном варианте состоит в

снижении вязкости растительного масла путем извлечения глицерина из состава масла за счет реакции переэтерификации, при которой глицерин в присутствии катализатора при температуре 60…64 °С заменяется на метиловый спирт. Растительные масла представляют собой смесь триглицеридов, так называемых эфиров, соединенных с молекулой глицерина $C_3H_5(OH)_3$. В результате замены в реакции синтезируется метиловый эфир, называемый биодизелем после соответствующей очистки от омыленных жиров и примесей. Метиловый спирт CH_3OH, используемый в технологии переэтерификации, является очень опасным токсичным веществом для здоровья человека. Поэтому совершенствование технологии по замене метилового спирта CH_3OH на этиловый спирт C_2H_5OH для переэтерификации растительных жиров и рапсового масла с извлечением глицерина $C_3H_5(OH)_3$ является актуальным направлением в области получения биодизельного топлива [7-12]. В технологии использования этилового спирта для переэтерификации растительного масла необходимо решать задачу снижения расхода теплоты на реакции синтеза этиловых эфиров жирных кислот, являющихся основой этилового биодизельного топлива. В данной работе на реакции синтеза предложено использовать теплоту перегретого водяного пара, получаемого в котле от сжигания рапсового жмыха, получаемого от прессования рапса.

Объект исследования

Объектом исследования являлась технология производства этилового биодизельного топлива из рапсового масла на стадиях прессования семян рапса и синтеза этиловых эфиров жирных кислот. На стадии прессования в производственном цехе Казанского ООО «Тетра-Инвест» экспериментально исследовались режимные параметры работы шести прессов марки HFP20-W230/4. Производительность одного прессового агрегата – 1,25 т/час по исходному сырью – семенам рапса. Расход водяного пара для одного прессового агрегата – 0,8 т/час при давлении пара 0,6 МПа и температуре 164 °С. Расход теплоты на горячее прессование 1 т семян рапса – 0,34 МВт/т. Исследование влияния температуры на выход этиловых эфиров жирных кислот в реакторе синтеза проведено по эксплуатационным показателям линии Херсонского НПЧП «Институт Текмаш» при производстве рапсового биодизеля [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Количество получаемого растительного биодизельного топлива из 1 тонны исходного маслосодержащего сырья зависит от содержания масла в рапсовых семенах, от уровня температур в реакторе при синтезе эфиров жирных кислот. Средние массовые значения компонентов на стадии прессования рапсового масла и на стадии синтеза эфиров жирных кислот при производстве биодизельного топлива приведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, для отжима 980 кг рапсового масла требуется 3063 кг рапсовых семян со средним содержанием в них масла 31,9 %.

Таблица 1

Материальные балансы для прессования рапса и для синтеза 1 т биодизельного топлива из рапсового масла

Приход		Расход	
Компонент	Масса, кг	Компонент	Масса, кг
Отжим рапсового масла			
Семена рапса	3063	Рапсовое масло	980
		Жмых	2083
Итого	3063	Итого	3063
Синтез 1 т этиловых эфиров жирных кислот из рапсового масла			
Рапсовое масло	980	Этиловые эфиры жирных кислот	1000
Метиловый или этиловый спирт	125	Глицерин	120
Катализатор КОН	24	Омыленные жиры	9
Итого	1129	Итого	1129

При этом образуется 2083 кг жмыха с низшей теплотой сгорания в рабочей массе 20 МДж/кг. Производительность цеха для прессования рапса равна в среднем 6 тонн семян в час. Получаемое при этом количество жмыха 4080 кг может быть использовано для работы парового котла с тепловой мощностью 20 МВт.

Как показывают данные табл. 2, в технологии синтеза с применением этилового спирта требуется теплоты больше на 20,3 % по сравнению с использованием метилового спирта.

Таблица 2

Сравнительные тепловые балансы реактора при синтезе 1 т метилового и этилового биодизельного топлива из 980 кг рапсового масла

Приход		Расход	
Источник	Значение, МДж	Потребитель	Значение, МДж
Синтез метилового биодизеля при 64 °С			
Внешний парогенератор	129,7	Нагрев рапсового масла	57
		Нагрев метилового спирта	22,4
		Нагрев катализатора КОН	2,3
		Нагрев оборудования	48
Итого	129,7	Итого	129,7
Синтез этилового биодизеля при 78 °С			
Перегретый водяной пар, получаемый при сжигании жмыха	162,8	Нагрев рапсового масла	70,3
		Нагрев этилового спирта	31,2
		Нагрев катализатора КОН	2,8
		Нагрев оборудования	58,5
Итого	162,8	Итого	162,8

Однако использование метилового спирта чрезвычайно опасно для обслуживающего персонала. Поэтому применение безопасного этилового спирта для реакции переэтерификации является наиболее перспективным для производства биодизельного топлива.

Схема комбинированной установки для производства этилового биодизельного топлива, представленная на рис. 1, включает в себя встроенный паровой котел – 4, который производит перегретый водяной пар для горячего отжима рапса – 1 в прессе – 2 и для синтеза в реакторе – 14 этиловых эфиров жирных кислот.

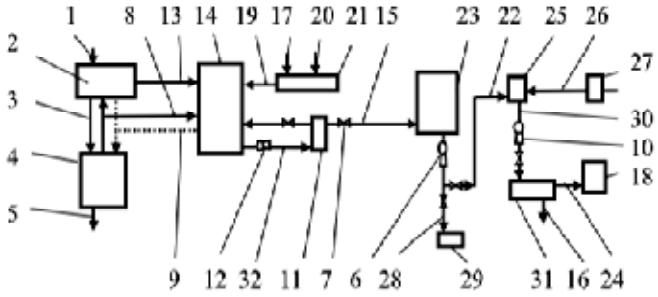


Рис. 1. Комбинированная установка для производства этилового биодизельного топлива (иллюстрация авторов):
1 – зерна рапса; 2 – пресс для отжима рапсового масла; 3 – жмых; 4 – котел; 5 – зола; 6 – насос; 7 – задвижка; 8 – перегретый водяной пар; 9 – конденсат водяного пара; 10 – насос; 11 – кавитатор; 12 – насос; 13 – рапсовое масло; 14 – реактор для синтеза биодизельного топлива; 15 – смесь этиловых эфиров жирных кислот и глицерина после кавитатора; 16 – удаление примесей; 17 – этиловый спирт; 18 – сборник биодизельного топлива; 19 – раствор катализатора и этилового спирта; 20 – катализатор КОН; 21 – смеситель для получения раствора катализатора и этилового спирта; 22 – биодизельная фракция; 23 – отстойник глицериновой фракции; 24 – отфильтрованное биодизельное топливо; 25 – смеситель адсорбента с биодизельной фракцией; 26 – адсорбент; 27 – дозатор адсорбента; 28 – глицерин; 29 – сборник глицерина; 30 – смесь адсорбента с биодизельной фракцией; 31 – фильтр; 32 – смесь этиловых эфиров жирных кислот и глицерина до кавитатора

Увеличение потребления теплоты при переходе на использование этилового спирта в реакторе синтеза решается за счет сжигания жмыха в паровом котле, который встроен в комбинированную установку, включающую в свой состав пресс горячего отжима рапсового масла.

Этиловый спирт – 17 и катализатор – 20 в реактор – 14 поступают из смесителя – 21. Кавитатор – 11 служит для выработки эмульсионной смеси из рапсового масла, этилового спирта и катализатора – щелочи КОН, при которой процесс замещения глицерина на этиловые эфиры жирных кислот происходит быстрее. В отстойнике – 23 глицерин скапливается в нижней части, а биодизельная фракция из этиловых жирных кислот скапливается в верхней части. В результате разделения после слива глицерина в сборник – 29 биодизельная фракция поступает в смеситель – 25, в который из дозатора – 27 подается адсорбент – 26, в качестве которого используется силикат магния Mg_2SiO_4. Адсорбент – 26 отделяет от биодизельной фракции омыленные жиры и примеси, которые оседают в фильтре – 31. Очищенная биодизельная фракция – 24, представляющая собой непосредственно этиловое биодизельное топливо, подается в сборник –18.

При производстве этилового биодизельного топлива основное потребление теплоты от котла – 4 связано с горячим отжимом рапса – 1 в прессе – 2. По сравнению с ним доля потребления теплоты в реакторе – 14 для синтеза этиловых жирных кислот сравнительно невелика (табл. 3).

Таблица 3

Тепловой баланс котла для отжима рапса в прессе и синтеза эфиров жирных кислот в реакторе

Приход		Расход	
Источник	Значение, МДж	Потребитель	Значение, МДж
Получение перегретого водяного пара в котле			
Сжигание 219,6 кг/час жмыха с теплотой сгорания 20 МДж/кг	4391,4	Нагрев 3063 кг семян рапса при отжиме 980 кг масла в прессе	3859,2
		Синтез этиловых эфиров жирных кислот в реакторе	162,8
		Потери теплоты в котле	369,4
Итого	4391,4	Итого	4391,4

Для работы котла с КПД 91 % при производстве 1 тонны этилового биодизельного топлива необходимо сжигать 219,6 кг/час рапсового жмыха. При работе трех прессов обеспечивается количество рапсового масла 980 кг/час. Получаемое при этом количество жмыха может быть использовано не только для работы комбинированной установки, но и для производства перегретого пара с целью отпуска его другим потребителям. Перспективным является увеличение мощности комбинированной установки по выработке этилового биодизельного топлива до двух тонн в час.

Таблица 4

Выход этиловых эфиров жирных кислот рапсового масла (ЭЭРМ) в зависимости от соотношения этилового спирта и рапсового масла при различной продолжительности реакции

Молярное соотношение «этиловый технический спирт – рапсовое масло»	Продолжительность реакцииτ, мин	Выход ЭЭРМV, массовый %
4:1	10	20
4:1	60	38
4:1	120	42
9:1	10	70
9:1	60	77
9:1	120	82

Поскольку реакция переэтерификации равновесная, избыток этилового спирта смещает равновесие в сторону образования продуктов реакции. Однако при большом

избытке этилового спирта увеличивается растворимость глицерина в реакционной смеси, что затрудняет его выделение и ухудшает распределение катализатора между эфирным и глицериновым слоями. При стехиометрическом соотношении этилового спирта и рапсового масла 9:1 выход этиловых эфиров жирных кислот рапсового масла (ЭЭРМ) при продолжительности реакции переэтерификации свыше 10 минут превышал 70 % (табл. 4).

Производство этиловых эфиров вместо метиловых эфиров рапсового масла требует изменения температуры реагирующей смеси с 64 °С до 78 °С.

Анализ влияния температуры t, продолжительности реакции τ и кавитации на выход V этиловых эфиров жирных кислот рапсового масла при щелочном катализаторе показывает, что кавитация при 78 °С уже через τ=15 мин позволяет достигнуть выхода V= 99 % (рис. 2).

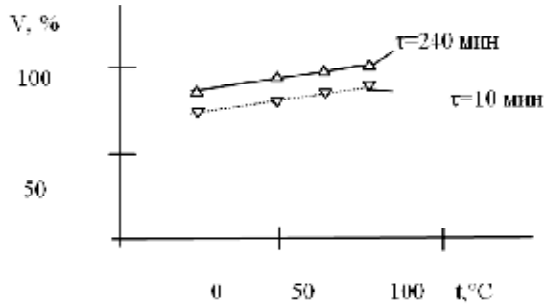


Рис. 2. Влияние температуры – t и продолжительности реакции – τ
на выход – V этиловых эфиров жирных кислот при щелочном катализаторе
при работе без кавитатора (иллюстрация авторов)

На рис. 2 приведены экспериментальные данные для реакции переэтерификации рапсового масла по влиянию температуры t и продолжительности реакции τ на выход V этиловых эфиров жирных кислот при щелочном катализаторе при работе без кавитатора.

Как видно из рис. 2, выход V этиловых эфиров жирных кислот при щелочном катализаторе очень сильно зависит от температуры реакции t как для начального периода с продолжительностью τ=10 мин, так и на стадии завершения реакции τ=240 мин.

При отсутствии кавитации при продолжительности реакции 15 минут выход V этиловых эфиров жирных кислот снижается в среднем на 12 %.

Помимо замены метилового спирта на этиловый спирт дальнейшее совершенствование технологии производства биодизельного топлива должно осуществляться в направлении изучения синтеза новых марок катализаторов, что позволит получать биодизельное топливо из этилового спирта с таким же выходом, такого же качества и при таких же условиях, как и для биодизеля с использованием метилового спирта.

Щелочные катализаторы КОН и NaOH, используемые в настоящее время, требуют для реакции переэтерификации меньшее количество тепловой энергии по сравнению с кислотными катализаторами.

Однако во время синтеза этиловых эфиров с использованием щелочных катализаторов протекает побочная реакция омыления рапсового масла. При этом количество катализатора уменьшается.

Наиболее перспективными являются катализаторы на основе алкоголятов щелочных металлов, исключающих недостатки щелочных катализаторов. В качестве алкоголята щелочного металла используется изобутилат калия при следующем соотношении компонентов (масс.%): изобутилат калия 10…25 %, изобутиловый спирт 75…90 %.

На рис. 3 приведены экспериментальные данные для реакции переэтерификации рапсового масла по зависимость выхода V этиловых эфиров жирных кислот при щелочном катализаторе от продолжительности реакции τ для температуры t=78°С: 1 – с кавитационной обработкой, 2 – без кавитационной обработки.

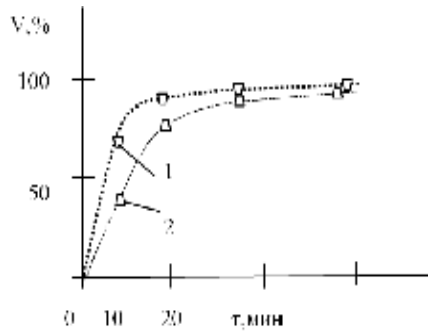


Рис. 3. Зависимость выхода V этиловых эфиров жирных кислот при щелочном катализаторе от продолжительности реакции τ для температуры t=78°C: 1 – с кавитационной обработкой, 2 – без кавитационной обработки (иллюстрация авторов)

Из рис. 3 следует, что кавитационная обработка реагирующей смеси в реакции переэтерификации для температуры t=78°C очень сильно повышает выход V этиловых эфиров жирных кислот при щелочном катализаторе на начальном периоде при продолжительности реакции τ до 20 мин.

Поэтому при проведении реакции переэтерификации кавитационная обработка приводит к существенному повышению выхода V этиловых эфиров жирных кислот на стадии прогрева реактора.

Заключение

Разработанная схема комбинированной установки позволяет производить из семян рапса этиловое биодизельное топливо в количестве до двух тонн в час, без использования опасного метилового спирта.

Количество рапсового жмыха, получаемого на стадии прессования, может быть использовано для производства во встроенном котле перегретого водяного пара с целью его подачи внешним потребителям.

Список библиографических ссылок

1. Beckmann M., Klepmann F., Martin J., Scholz R., Seifert H. Classification of Waste-to-energy Plants in Terms of Energy Recovery // VGB PowerTech. 2007. № 10. P. 76–81.
2. François J., Abdelouahed L., Mauviel G., Feidt M., Rogaume C., Mirgaux O., Patisson F., Dufour A. Estimation of the energy efficiency of a wood gasification CHP plant using Aspen Plus // Chemical engineering transactions. 2012. № 29. P. 769–774.
3. Shen Y., Yoshikawa K. Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. № 21. P. 371–392.
4. Uisung L., Elango B., Chung J. N. An experimental evaluation of an integrated biomass gasification and power generation system for distributed power applications // Applied Energy. 2013. № 101. P. 699–708.
5. Котел для сжигания промышленных и бытовых отходов : пат. 166214 Рос. Федерация. № 2016119703/03 ; заявл. 20.05.16 ; опубл. 20.11.16, Бюл. № 32. 5 с.
6. Садыков Р. А., Ахметова Р. В., СафинР. Г., Медведева Г. А. Calculation of Fuel Oil Drop Burnup Time Dependenceon Intensity of Flame Radiation // Applied Sciences. 2016. № 12. P. 1660–1665.
7. Таймаров М. А., Чикляев Е. Г., Касимова Л. И. Совершенствование технологии производства этилового биодизельного топлива : сб. ст. по итогам Международной научно-практической конференции «Моделирование и анализ сложных технических и технологических систем» / Таганрог, 2019. С. 43–45.
8. Антонова З. А., Крук В. С., Курсевич В. Н., Максимук Ю. В., Кривова М. Г. Получение и свойства этиловых эфиров рапсового масла // Вестник Белорусского государственного университета. 2015. № 1. С. 7–12.

9. Дворецкий Д. С., Нагорнов С. А., Ермаков А. А., Неизвестная С. В. Технология получения биодизельного топлива с использованием гетерофазных катализаторов и СВЧ-нагрева // Вопросы современной науки и практики. 2012. № 39. С. 136–143.
10. Liu X. Calcium Methoxideas a Solid Base Catalystfor the Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel with Methanol // Fuel. 2008. № 87. P. 1076–1082.
11. Russbueldt B. M., Hoelderich W. F. New Rare Earth Oxide Catalysts for the Transesterification of Triglycerides with Methanol Resulting in Biodiesel and Pure Glycerol // Journal of Catalysis. 2010. № 271 (2). P. 290–304.
12. Demirbas A. Biodiesel: a Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines // Springer-Verlag London Limited. 2008. № 31. P. 209.

Taimarov Mikhail Alexandrovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: taimarovma@yandex.ru
Kazan State Power Engineering University
The organization address: 420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya st., 51
Lavirko Yuri Vasilyevich
candidate of technical sciences, associate professor
Email: lav.yu55@gmail.com
Sadykov Renat Akhatovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: sadykov_r_a@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Energy saving in technology of production of ethyl biodiesel fuel from rape seeds

Abstract

Problem statement. Replacing hydrocarbon fuels from oil with fuels derived from vegetable oil-containing raw materials is an important economic task. Vegetable oil-containing raw materials, which include rapeseed is renewable. The main difficulties in the technology of biodiesel rapeseed fuel should include the use of dangerous to human health methyl alcohol. Therefore, technologies are being developed to replace methyl alcohol with safe ethyl alcohol. The aim of the study is to determine the efficiency of heat supply in the form of superheated steam from the boiler burning oilcake after pressing rapeseed oil in the press. Task: complex use of rapeseed oilcake as fuel.

Results. The alcohol is designed to perform the transesterification reaction, which consists in obtaining ethyl fatty acids from rapeseed oil with the release of glycerol. The boiling point of methyl and ethyl alcohol respectively equal to 64,7 ^{o}C and 78,4 ^{o}C. Ethanol, compared to methanol, less active in the reaction of transesterification. Therefore, the heating temperature of the reactor to produce ethyl fatty acids in the interesterification reaction in accordance with the boiling point of ethyl alcohol may be higher compared to methyl alcohol, on average, 10 ^{o}C. Typically, rapeseed biodiesel technologies use heat from an external heat source. Therefore, the technology proposed in this paper with heat supply to the transesterification reactor from the built-in boiler burning rapeseed oilcake is effective and allows to obtain heat savings.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is that the rapeseed oilcake obtained at the pressing stage can be used to produce superheated water vapor in the built-in boiler in order to supply it to external consumers. The thermal balance during compaction and fusion reactions 1000 kg of ethyl biodiesel showed that sufficient heat for fusion can be generated in the boiler by burning oilcake obtained from pressing 3063 kg of rape seeds.

Keywords: biodiesel, heating, etherification, ethyl, alcohol, cavitation, vegetable oils, rapeseed, technology, catalyst.

References

1. Beckmann M., Klepmann F., Martin J., Scholz R., Seifert H. Classification of Waste-to-energy Plants in Terms of Energy Recovery // VGB PowerTech. 2007. № 10. P. 76–81.
2. François J., Abdelouahed L., Mauviel G., Feidt M., Rogaume C., Mirgaux O., Patisson F., Dufour A. Estimation of the energy efficiency of a wood gasification CHP plant using Aspen Plus // Chemical engineering transactions. 2012. № 29. P. 769–774.
3. Shen Y., Yoshikawa K. Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. № 21. P. 371–392.
4. Uisung L., Elango B., Chung J. N. An experimental evaluation of an integrated biomass gasification and power generation system for distributed power applications // Applied Energy. 2013. № 101. P. 699–708.
5. Boiler for combustion of industrial and domestic waste : patent 166214 of the Rus. Federatoin. № 2016119703/03 ; decl. 20.05.2016 ; publ. 20.11.2016. Bull. № 32. 5 p.
6. Sadykov R. A., Akhmetov V. R., Safin R. G., Medvedeva G. A. Calculation of Fuel Oil Drop burn up Time Dependence on the Intensity of Flame Radiation // Applied Sciences. 2016. № 12. P. 1660–1665.
7. Tamarov M. A., Chilaev E. G., Kasimova L. I. Improving the technology of production of ethyl biodiesel : dig. of art. the International scientific-practical conference «Modeling and analysis of complex technical and technological systems» / Taganrog, 2019. P. 43–45.
8. Antonova Z. A., Kruk V. S., Kursevich V. N., Maksimuk Y. V., Krivova M. G. Preparation and properties of ethyl esters of rapeseed oil // Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. № 1. P. 7–12.
9. Dvoretsky D. S., Nagornov S. A., Ermakov A. A., Unknown S. V. Technology of biodiesel production using heterophase catalysts and microwave heating // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. 2012. № 39. P. 136–143.
10. Liu X. Calcium Methoxideas a Solid Base Catalystfor the Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel with Methanol // Fuel. 2008. № 87. P. 1076–1082.
11. Russbueldt B. M., Hoelderich W. F. New Rare Earth Oxide Catalysts for the Transesterification of Triglycerides with Methanol Resulting in Biodiesel and Pure Glycerol // Journal of Catalysis. 2010. № 271 (2). P. 290–304.
12. Demirbas A. Biodiesel: a Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines // Springer-Verlag London Limited. 2008. № 31. P. 209.

УДК 628.16
Бусарев Андрей Валерьевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: reder1@myrambler.ru
Шешегова Ирина Геннадьевна
старший преподаватель
E-mail: ig-7@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Ефремова Регина Юрьевна
инженер
E-mail: regina_efremova16@mail.ru
ООО «Конвентстройинжиниринг»
Адрес организации: 422624, Россия, РТ, Лаишевский район, н.п. Столбищи, ул. Аэропортовская, д. 1

К вопросу удаления из природных вод нефтепродуктов методом сорбции

Аннотация

Постановка задачи. В результате активной хозяйственной деятельности человека в поверхностные источники водоснабжения могут поступать нефтепродукты. Одним из методов очистки природной воды от нефтепродуктов является сорбция. Наиболее эффективно очистка природной воды от нефтепродуктов осуществляется в адсорбционных напорных фильтрах. Целью исследований процессов очистки природной воды от нефтепродуктов методом сорбции является изучение технологических режимов работы напорных адсорбционных фильтров с загрузкой из различных сорбентов.

Результаты. Основные результаты исследований состоят в определении наиболее эффективного сорбента для очистки природных вод от нефтепродуктов, а также технологических параметров их очистки в напорных адсорбционных фильтрах.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в определении типа наиболее эффективного сорбента, а также технологических параметров очистки воды из поверхностных источников от нефтепродуктов в напорных адсорбционных фильтрах.

Ключевые слова: очистка природных вод от нефтепродуктов, методы очистки природных вод от нефтепродуктов, сорбция, сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов, адсорбционный фильтр.

Введение

В настоящее время нефтепродукты широко используются в технике и промышленности в качества топлива или смазочных материалов. Это ведет к попаданию данных веществ в поверхностные источники водоснабжения вместе с ливневымы сточными водами или стоками промышленных предприятий [1-3].

Также нефтепродукты могут поступать в поверхностные источники при использовании рек, озер и водохранилищ в целях судоходства [4].

Нефтепродукты присутствуют в природной воде в виде пленки эмульсии типа «нефть в воде» (Н/В) или в растворенном состоянии [4]. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 концентрация нефтепродуктов в воде питьевого качества не должна превышать 0,1 мг/л. Таким образом, удаление нефтепродуктов из природной воды для нужд населения и промышленных предприятий является актуальной научной проблемой.

Методы удаления нефтепродуктов из природных вод

Крупнодисперсные нефтепродукты удаляются механическими методами (отстаиванием, фильтрованием, обработкой воды в центробежном поле) [1, 2, 5].

В качестве химических методов очистки природной воды от нефтепродуктов используется окисление. Для этого применяются такие мощные окислители, как хлор,

преманганат калия, перикись водорода. Можно использовать для этих целей озон. К недостаткам применения озона следует отнести сложность его получения, высокую коррозионную активность, а также значительную токсичность [6]. Озонирование позволяет удалить из природных вод растворенные в них нефтепродукты [5].

В настоящее время стали шире применяться для очистки природных вод от нефтепродуктов биологические методы. Так для этих целей используются биосорберы или мембранные биореакторы (МБР), в которых биохимическое окисление сочетается с использованием мембранных разделителей [7]. Содержание нефтепродуктов в воде может быть уменьшино в этом случае с 20 мг/л до 0,5-1,2 мг/л [7].

Для очистки природных вод от нефтепродуктов также используются и физико-химические методы [5, 7]. К ним относятся флотация, элетрокоагуляция, мембранное разделение и сорбция [5, 7, 8]. Напорная флотация совместно с реагентной обработкой (добавлением коагулянтов и флокулянтов) имееет недостаточно высокую эффектовность очистки воды от нефтепродуктов. Следует активнее применять для этих целей электрофлотацию.

При очистке природных вод от нефтепродуктов методом электрокоагуляции, обычно используются металлические (железные или алюминиевые) растворимые электроды. Электрохимическая обработка природной воды, которой и является электрокоагуляция, снижает кинетическую и агрегативную устойчивость эмульсий типа Н/В за счет образования в ней гидроокисей железа или алюминия в ходе растворения металлических электродов [4].

Авторы работы [5] предлагают осуществлять очистку воды от нефтепродуктов при их небольших концентрациях путом воздействия на нее импульсными электрическими разрядами. Такая обработка позволяет комплексно воздействовать на нефтяные эмульсии первого рода (ультрофиолетовое излучение, волны давления, возникновение в воде активных окислителей и т.п.). Крупным недостатком электрохимической очистки является достаточно большой расход электроэнергии.

Мембранное разделение, используемое для очистки природной воды от нефтепродуктов относится к нанотехнологиям. Оно осуществляется либо под избыточным давлением, либо под действием внешнего электроческого поля [7, 8].

Для очистки природных вод от нефтепродуктов используется, как правило ультафильтрация, т.е. мембранное разделение, работающие под избыточным давлением, с размереми пор мембран 10^{-9}-10^{-8} [7]. Мембраны обычно изготавливаются из синтетических материалов: полифосфатов (поддерживающий слой) и полиамидов (фильтрующий слой). Они изготавливаются, как правило, в виде полых цилиндров, которые компонуются в модули с целью увеличения производительности мембранныз разделителей [7].

Принцип работы мембранных разделителей основан на задержании порами мембран капель нефтепродуктов, размер которых больше размера пор. Таким образом, при работе мембранных разделителей образуются чистая вода (фильтрат) и концентрат (эмульсия с высоким содержанием нефтепродуктов) [7, 8].

К недостаткам мембранных разделителей относятся [7]: а) сложность их эксплуатации; б) достаточно малый срок службы; в) необходимость утилизации концентрата; г) сравнительно высокая стоимость мембран; д) необходимость предварительно очищать воду, поступающую на обработку в мембранные разделители.

В Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ) имеется опыт очистки воды от нефтепродуктов с использованием мембранных разделителей [8].

Авторы работ [8, 9] предлагают использовать для очистки природной воды от нефтепродуктов адсорбционные фильтры, которые могут быть загружены активированными древесными углями или синтетические сорбенты.

Иногда для сорбционной очистки воды применяются природные сорбенты (клиноптилолит, шунгит) [10].

Описание экспериментальной установки

На кафедре «Водоснабжения и водоотведения» КГАСУ проводились исследования процессов очистки природных вод от нефтепродуктов с помощью напорных адсорбционных фильтров. Технологическая схема установки, на которой проводились данные исследования, представлена на рисунке. Состоит эта экспериментальная установка из емкости для исходной воды – 1, модели адсорбционного фильтра – 2, насосов, соединительных трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры и системы контрольно-измерительных приборов (КИП).

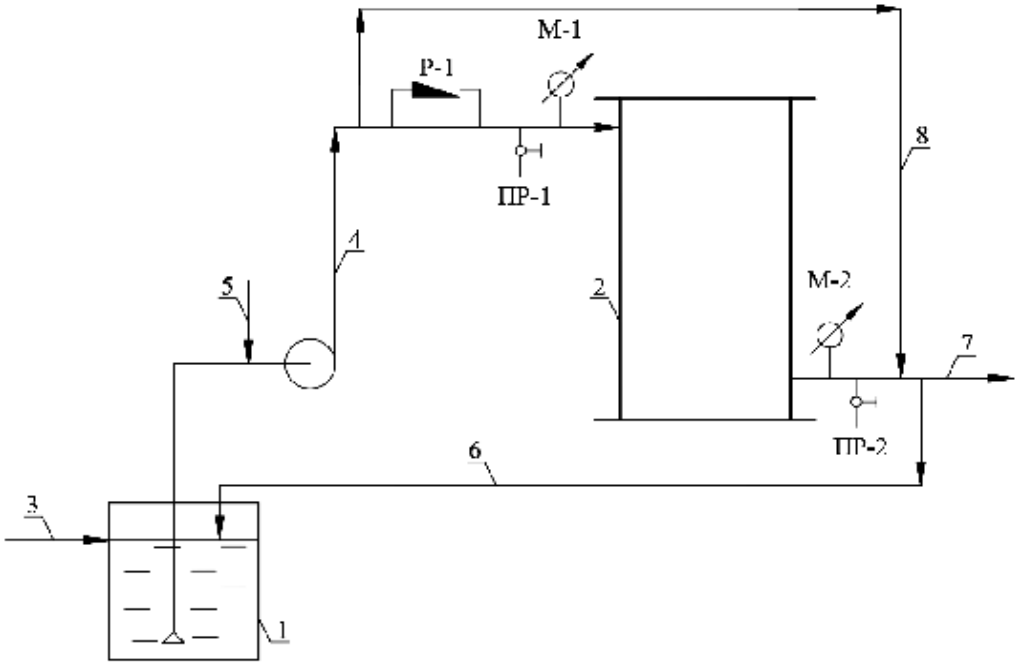


Рис. Технологическая схема экспериментальной установки для очистки природной воды от нефтепродуктов (иллюстрация авторов)

В емкость – 1 по трубопроводу – 3 подается вода питьевого качества. На обработку в модель адсорбционного фильтра – 2 вода подается насосом Н-1 по трубопроводу – 4. Во всасывающую линию насоса Н-1 по трубопроводу – 5 насосом-дозатором подаются нефтепродукты. Очищенная вода отводится от модели фильтра – 2 под остаточным давлением по трубопроводу – 6. Она может сбрасываться в систему водоотведения по трубопроводу – 7. По трубопроводу – 8 избыток воды сбрасывается в систему водоотведения.

На трубопроводе – 4 установлены расходомер Р-1 и манометр М-1 для определения давления на входе в модель адсорбционного фильтра – 2. Этот трубопровод оборудован пробоотборником ПР-1 для отбора проб воды, поступающей на очистку в модель фильтра – 2.

На трубопроводе – 7 установлен манометр М-2 для определения давления на выходе из модели адсорбционного фильтра – 2. Также этот трубопровод оборудован пробоотборником ПР-2 для отбора проб очищенной воды.

Манометры М-1 и М-2, а также расходомер Р-1 входят в состав системы КИП.

Скорость фильтрования в модели адсорбционного фильтра – 2 не превышает 8 м/ч.

Время контакта воды с сорбентом в модели фильтра – 2 составляет 15-20 мин.

Давление на входе в модель адсорбционного фильтра – 2 не превышает 0,6 МПа.

Температура воды, обрабатываемой в адсорбционном фильтре, измеряется термометром с ценой деления 0,1°С.

Результаты исследований

Концентрация нефтепродуктов в воде измерялась фотоколлориметрическим методом [1].

Эффект очистки воды от нефтепродуктов $Э_н$, %, определяется по формуле (1) [1, 8]:

$$Э_н = \frac{C^н_{исх} - C^н_{оч}}{C^н_{исх}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $C^н_{исх}$ – концентрация нефтепродуктов в воде, поступающей на очистку, мг/л;
$C^н_{оч}$ – содержание нефтепродуктов в очищенной воде, мг/л.

Результаты исследований процессов очистки воды от нефтепродуктов в адсорбционных напорных фильтрах представлены в таблице.

Таблица

Результаты экспериментальных исследований

Тип загрузки	Давление, МПа		Температура воды, °С
	на входе в адсорбционный фильтр	на выходе из адсорбционного фильтра	
1	2	3	4
Активированный уголь АГ-3 с крупностью фракций 0,5-1,5 мм	0,2	0,17	20,1
	0,3	0,27	19,9
	0,4	0,36	20,0
	0,5	0,46	20,2
Сорбент СТН-30 с крупностью фракций 0,5-1,5 мм	0,2	0,27	19,8
	0,3	0,37	19,9
	0,4	0,46	20,1
	0,5	0,56	20,0
	0,2	0,27	20,1
	0,2	0,26	20,2
	0,2	0,17	19,9
	0,2	0,16	20,0
	0,2	0,15	20,1
	0,2	0,16	19,8
Шунгит карельский диаметр фракций 1-3 мм	0,2	0,17	20,1
	0,3	0,27	20,0
	0,4	0,36	20,2
	0,5	0,45	19,9

Таблица

Результаты экспериментальных исследований (продолжение)

Тип загрузки	Концентрация взвеси, мг/л		Эффект очистки, $Э_н$, %	Скорость фильтрования, м/ч	Время контакта воды с сорбентом, мин
	в исходной воде	в очищенной воде			
1	5	6	7	8	9
Активированный уголь АГ-3 с крупностью фракций 0,5-1,5 мм	2,05	0,18	91	8	15
	2,11	0,19	91	8	15
	1,94	0,19	90	8	15
	1,87	0,16	91	8	15
Сорбент СТН-30 с крупностью фракций 0,5-1,5 мм	1,68	0,1	94	8	15
	1,6	0,09	94	8	15
	1,83	0,12	93	8	15
	1,61	0,09	94	8	15
	1,75	0,1	94	7	17
	1,93	0,09	95	6	20
	1,1	0,08	93	8	15
	1,79	0,1	94	8	15
	2,87	0,19	93	8	15
	4,1	0,32	92	8	15
Шунгит карельский диаметр фракций 1-3 мм	1,86	0,22	88	8	15
	1,94	0,21	89	8	15
	2,1	0,27	87	8	15
	1,78	0,18	90	8	15

Анализ этих результатов позволяет сделать следующие выводы:

а) наиболее эффективным методом при очистке природных вод от нефтепродуктов сорбции оказался сорбент СТН-30;

б) концентрация нефтепродуктов в природной воде, очищаемой методом сорбции, не должна превышать 1,5-2 мг/л;

в) рост давления в адсорбционных фильтрах не влияет на эффективность очистки от нефтепродуктов;

г) потери напора в адсорбционных фильтрах при очистке природной воды от нефтепродуктов составили 3-5 м;

д) время контакта природной воды, загрязненной нефтепродуктами, с сорбентом должно быть не менее 15-20 мин;

е) увеличение времени контакта воды, загрязненной нефтепродуктами, с сорбентом повышает эффективность работы адсорбционных напорных фильтров;

ж) эффект очистки природной воды от нефтепродуктов для шунгита достигает 87-90 %, для активированного древесного угля марки АГ-7 – 90-91 %, а для сорбента типа СТН-30 – 93-95 %.

Заключение

Проведенные исследования показали, что, при концентрациях нефтепродуктов в воде до 2 мг/л, можно рекомендовать очистку методом сорбции с использованием напорных фильтров с движением воды сверху вниз. При этом в качестве загрузки напорных фильтров следует применять сорбент СНТ-30.

Список библиографических ссылок

1. Бусарев А. В., Селюгин А. С., Каюмов Ф. Ф. К вопросу очистки поверхностных стоков в гидроциклонных установках // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 10. С. 229–232
2. Busarev A. V., Selygin A. S., Abitov A. N. Experience in the USF of Hydrocyclone plants for industrial Wasterwater treatment: Material of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and intergration – Bijing (China): Minzu University of China, 2019. P. 166–169.
3. Селюгин А. С., Бусарев А. В., Абитов Р. Н. К вопросу очистки нефтесодержащих сточных вод с целью предотвращения загрязнения поверхностных источников: сб. докладов XII Международной научно-технической конференции посвященной памяти акад. РАН С.В. Яковлева / МГСУ. Москва, 2017. С. 108–113.
4. Хаскельберг М. Б. Повышение эффективности удаления нефтепродуктов из сточных вод // Известия Томского политехнического университета. 2014. т. 319. № 3. С. 32–35.
5. Сундукова Е. Н. Химия воды и микробиология. Казань : КГАСУ, 2015. 101 с.
6. Адельшин А. Б., Бусарев А. В., Селюгин А. С., Хисамеева Л. Р. Очистка природных и сточных вод с применением нанотехнологий : сб. мат. XII Международной научно-технической конференции «Нанотехнологии в промышленности» / Татарстанский ЦНТИ. Казань, 2011. С. 14–16.
7. Адельшин А. Б., Бусарев А. В., Селюгин А. С., Гареев Б. М., Манвелян Ш. Г. Исследование процессов очистки поверхностных стоков // Вода: химия и экология. 2014. № 8. С. 113–117.
8. Labunska I., Brigden K., Santillo D., Kiselev A., Johnston P. Russian Refuse III. Investigation of organic and heavy metal contaminants input and distribution in selected rivers of the Rassian Federation // Greenpeace Research Laboratories Technical Note. 2014. Vol. 4. P. 14–18.
9. Rafeah Wahi, Luqman Abdullah Chuah, Thomas Shean Yaw Choong, Zainab Ngaini, Mohsen Mobarekeh Nourouzi. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An over-view // Separation and Purification Technology. 2013. P. 51–63.

10. Тайгунова Г. Р., Бариева Э. Р., Серазеева Е. В. Усовершенствование системы очистки сточных вод : сб. научных трудов SWorld по материалам научно-практической конференции. 2013. т. 37. № 1. С. 28–30.

Busarev Andrey Valerevich
candidate of technical sciences, assistant professor
E-mail: reder1@myrambler.ru
Sheshegova Irina Gennadievna
senior lecturer
E-mail: ig-7@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Efremova Regina Yurevna
engineer
E-mail: regina_efremova16@mail.ru
OOO «Conventstroyengineering»
The organization address: 422624, Russia, RT, Laishev dist., Stolbishchi, Airportovskaya st., 1

To the issue of oil products removal from natural waters by sorption method

Abstract

Problem statement. As a result of vigorous human activities petroleum products pollute the surface water supplies. Sorption is one of the methods of purification of natural water from oil products. The most effective purification is carried out in adsorption pressure filters. The purpose of researching natural water from petroleum products by the sorption method is to study the effectiveness of its purification using various types of sorbents.

Results. The main research results are to determine the most effective sorbent for the purification of natural water from oil products, as well as the technological parameters of their purification in pressure adsorption filters.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in determining the type of the most effective sorbent, as well as the technological parameters of water purification from surface sources from oil products in pressure head adsorption filters.

Keywords: purification of natural water from oil products, methods of purification of natural water from oil products, sorption, sorbents for purification of water from oil products, adsorption filter.

References

1. Busarev A. V., Selyugin A. S., Kayumov F. F. To the question of clearance of surface sewage in hydrocyclone units // Sovremennye naukoemkie technologii. 2016. № 10. P. 229–232.
2. Busarev A. V., Selygin A. S., Abitov A. N. Experience in the USF of Hydrocyclone plants for industrial Wasterwater treatment : mat. of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and intergration – Bijing (China): Minzu University of China, 2019. P. 166–169.
3. Selyugin A. S., Busarev A. V., Abitov R. N. On the issue of purification of oily wastewater in order to prevent pollution of surface sources: collection of articles. Reports of the XII International scientific and technical conference dedicated to the memory of acad. RAS S.V. Yakovleva /MGSU. Moscow, 2017. P. 108–113.
4. Haskelberg M. B. Improving the effectiveness of the removal of oil from wastewater // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2014. Vol. 319. № 3. P. 32–35.
5. Sundukova E. N. Water chemistry and microbiology. Kazan : KGASU, 2015. 101 p.

6. Adelshin A. B., Busarev A. V., Selyugin A. S., Khisameeva L. R. Purification of natural and wastewater using nanotechnologies : materials of the XII International Scientific and Technical Conference «Nanotechnologies in Industry» / Tatarstan TSSTI. Kazan, 2011. P. 14–16.
7. Adelshin A. B., Busarev A. V., Selyugin A. S., Gareev B. M., Manvelyan Sh. G. Investigation of surface wastewater treatment processes // Voda: khimiya i ekologiya. 2014. № 8. P. 113–117.
8. Labunska I., Brigden K., Santillo D., Kiselev A., Johnston P. Russian Refuse III. Investigation of organic and heavy metal contaminants input and distribution in selected rivers of the Rassian Federation // Greenpeace Research Laboratories Technical Note. 2014. Vol. 4. P. 14–18.
9. Rafeah Wahi, Luqman Abdullah Chuah, Thomas Shean Yaw Choong, Zainab Ngaini, Mohsen Mobarekeh Nourouzi. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An over-view // Separation and Purification Technology. 2013. P. 51–63.
10. Taigunova G. R., Barieva E. R., Seraseeva E. V. Improvement of the wastewater treatment system: proceedings of the SWorld based on the materials of the scientific-practical conference. 2013. Vol. 37. № 1. P. 28–30.

УДК 628.3
Саинова Виктория Николаевна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: kivragtu@gmail.com
Катков Илья Сергеевич
лаборант
E-mail: ilyakat121995@gmail.com
Хунас Каси
кандидат технических наук
E-mail: hkaci@yandex.ru
Астраханский государственный технический университет
Адрес организации: 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 16

Реконструкция сооружений биологической очистки сточных вод с целью интенсификации извлечения биогенных элементов

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – рассмотреть возможные способы реконструкции сооружений биологической очистки сточных вод для интенсификации извлечения из них биогенных элементов.

Результаты. Рассмотрены современные технологии, теоретические аспекты процесса. Основные результаты исследования состоят в разработке варианта реконструкции существующих сооружений биологической очистки сточных вод, который позволит достичь высокой эффективности процесса за счет органичного сочетания анаэробной и аэробной зон.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности совершенствования технологий глубокой очистки сточных вод для проектирования и строительства систем водоотведения. После усовершенствования эффективность очистки может достигать 90 %.

Ключевые слова: аэротенк, очистка сточных вод, сточные воды, биологическая очистка, биогенные элементы.

Введение

Наиболее эффективными на сегодняшний день способами глубокой очистки сточных вод от биогенных элементов, с точки зрения глубины, скорости процесса и ресурсосбережения являются биологические. Применяемые на практике сооружения биологической очистки позволяют удалить не более 35 % азота и фосфора, не позволяют достичь глубокой очистки от этих элементов. Поэтому скрининг способов реконструкции сооружений биологической очистки сточных вод с целью интенсификации извлечения биогенных элементов является актуальным [1-10].

Анализ существующих технологий очистки сточных вод от биогенных элементов

Соединения азота удаляются из сточных вод при осуществлении процессов двухфазового окисления в аэробных условиях и восстановления окисленных форм в анаэробных с образованием азота и газообразных оксидов. Нитрификация может быть автотрофная и гетеротрофная. В процессе денитрификации микроорганизмы используют источники энергии в анаэробных условиях.

Глубокой очистки сточных вод от биогенных элементов можно добиться двумя возможными вариантами. Первый из них заключается в использовании активного ила во взвешенном состоянии. Второй – фиксированного активного ила на каком-то носителе. Оба варианта могут осуществляться в одном или разных сооружениях. Если процессы осуществляются в разных сооружениях с промежуточными отстойниками, то на каждой стадии будет образовываться активный ил, представленный определенными микроорганизмами, приспособленными к конкретному виду загрязнений.

Сооружение для осуществления процесса денитрификации располагают в технологической схеме, в ее начале или в конце, различные схемы расположения представлены на рис. 1.

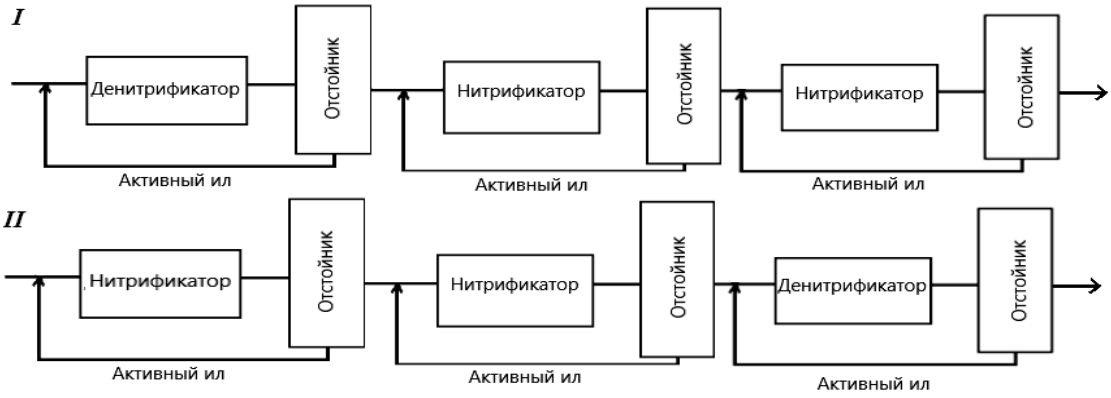


Рис. 1. Технологии очистки сточных вод
с различными вариантами расположения денитрификаторов: I – в начале технологической схемы;
II – в конце технологической схемы (иллюстрация авторов)

К достоинствам таких технологий относятся высокие скорости и возможная автоматизация процесса, к недостаткам – необходимость наличия дополнительного оборудования.

В комбинированных системах с использованием взвешенного ила все процессы осуществляются в одном сооружении смешанными микроорганизмами. В случае очистки концентрированных азотсодержащих сточных вод применяют несколько ступеней. В качестве недостатка комбинированных систем следует отметить, что они сложнее в эксплуатации, управлении процесса, могут выходить из строя при залповых сбросах компонентов сточных вод.

При одновременном осуществлении в одном сооружении аэрации и отделения ила, процессов, которые связаны гидравлически, создаются благоприятные условия для рециркуляции активного ила. Одновременно отпадает необходимость применения насосных станций и трубопроводов для рециркуляции.

Кроме того, глубокой очистки сточных вод от азота можно достичь в биопрудах с массовым развитием водорослей, в процессе жизнедеятельности которых происходит непосредственное потребление соединений азота из сточных вод, а также значительное снижение концентраций других остаточных загрязнений.

Анализ применяемых на сегодняшний день технологий глубокой нитрификации, денитрификации и ассимиляции фосфора, показывает возможность одновременного протекания этих процессов. Для этого необходимо поддерживать оптимальный окислительно-восстановительный потенциал. Его величина является характерной для каждого стока и условий очистки и осуществляется за счет аэрации. Оптимальное количество растворенного кислорода обычно составляет 0,1-0,5 мг/л. Интенсивность аэрации при этих значениях является недостаточной для перемешивания, поэтому используются механические способы. Так создаются условия, благоприятные для жизнедеятельности таких микроорганизмов, как факультативные аэробы и анаэробы.

Нитрификация происходит с помощью гетеротрофных и хемоавтотрофных микроорганизмов, денитрификация – микроорганизмов, ассимилирующих фосфор. При регулярной подаче воздуха создаются условия для одновременной нитри-денитрификации, в частности, биологической ассимиляции фосфора и поддержания бактерий активного ила в стационарной фазе роста. При лимитировании процесса подачи кислорода, бактерии активного ила поддерживаются в стационарной фазе роста, размножение уравновешивается процессом гибели микроорганизмов. Снижается интенсивность обменных процессов в стационарной фазе роста. Но ферментативная активность и синтез ферментов при этом не снижаются, благодаря участию в процессе,

наряду с кислородом, альтернативных акцепторов. Микроорганизмы в стационарной фазе роста характеризуются значительно большей устойчивостью к изменению pH и температуры благодаря тому, что значительная часть ила минерализована. Ферменты клеток еще долгое время остаются активными. Таким образом, процесс очистки носит ферментативный характер.

В настоящее время проблема реконструкции существующих очистных сооружений имеет целью поиск наиболее экономически выгодной и технологически надежной системы удаления биогенных элементов, перевод всех мощностей станции аэрации на очистку сточных вод с удалением биогенных элементов.

Эффективности очистки до 90 % можно достичь путем создания в сооружениях биологической очистки, наряду с аэробными, еще и аноксидных и анаэробных секций.

Это позволяет достичь эффективной очистки от соединений азота, фосфора, органических веществ, обеспечивает сокращение расхода воздуха и уменьшение прироста избыточного ила.

Аноксидные условия создаются за счет механического перемешивания, которое позволяет экономить энергию. Использование нитратов вместо молекулярного кислорода на окисление органики не только повышает эффективность процесса, но и сокращает затраты энергии.

Таким образом, данная реконструкция сооружений биологической очистки не требует больших дополнительных затрат, осуществляется при помощи установки поперечных перегородок, рециркуляции активного ила, монтажа системы аэрации, создающего определенные условия в трех секциях.

Процесс модифицируют и с целью глубокого изъятия фосфора посредством включения анаэробной зоны, создавая условия, когда активный ил последовательно проходит анаэробную и аэробную зоны. Это стимулирует развитие в нем фосфорных бактерий, относящихся к факультативным анаэробам. Одновременно с этим необходимо учитывать, что длительное пребывание активного ила в бескислородных условиях недопустимо во избежание выхода фосфора из клеток в раствор и его возврата на вход.

Устройство для очистки сточных вод от биогенных элементов

Примером такой модификации является полезная модель № 189857, 2018 г. (авторы: Саинова В.Н., Катков И.С.), которая представляет собой совершенствование очистного сооружения без анаэробной зоны: патент РФ № 120095, 2012 г (авторы: Кагарманов А.Ф., Ляченков Д.Ю., Никитина О.Г., Никитин Н.Е., Хатыпов Ш.Г.) (рис. 2).

Устройство работает следующим образом: сточная вода на первоначальном этапе проходит сетчатый фильтр 23, где происходит очищение от крупных взвесей, после этого под давлением подается в аэротенк 1 через патрубок 2, где происходит смешивание с активным илом. В анаэробной зоне вода движется через проемы, по «коридорам», образованным за счет перегородок 4, что увеличивает время очистки воды. В данной зоне без доступа кислорода при медленном перемешивании иловой смеси за счет двух погружных мешалок 5 азот нитратов восстанавливается до газообразного. После денитрификации происходит аэрация иловой смеси. Через трубу-коллектор 10 в систему аэрации 6 подается сжатый воздух от компрессора 7, который за счет напора выходит из отверстий 17 и 18 штуцеров 19, что обеспечивает очистку вод за счет смешивания ее с активным илом. В конечном итоге возникшая иловая смесь постоянно движется в сторону отстойника 8, с дальнейшим, непрерывным перетоком из аэротенка 1 в отстойник 8. В этом отстойнике 8 разделяется очищенная вода от активного ила.

Перекачка активного ила из отстойника 21 на начальный аэротенк 20 производится за счет работы элифта 9. Двигаясь по трубе эрлифта 15, активный ил попадает на начальный участок эротенка вместе с поступающими на очистку сточными водами. Здесь также из активного ила и вод получается иловая смесь, в результате цикл повторяется. Аналогичен процесс и в аэротенке 1, за исключением анаэробной зоны. Чтобы не допустить залипание ила на стенах приямка 12 отстойника 21 из перфорированных труб 14 пневмоворошителя 13 периодически осуществляет подача сжатого воздуха, благодаря чему активный ил устраняется со стен короба отстойника 21 в конический приямок 12.

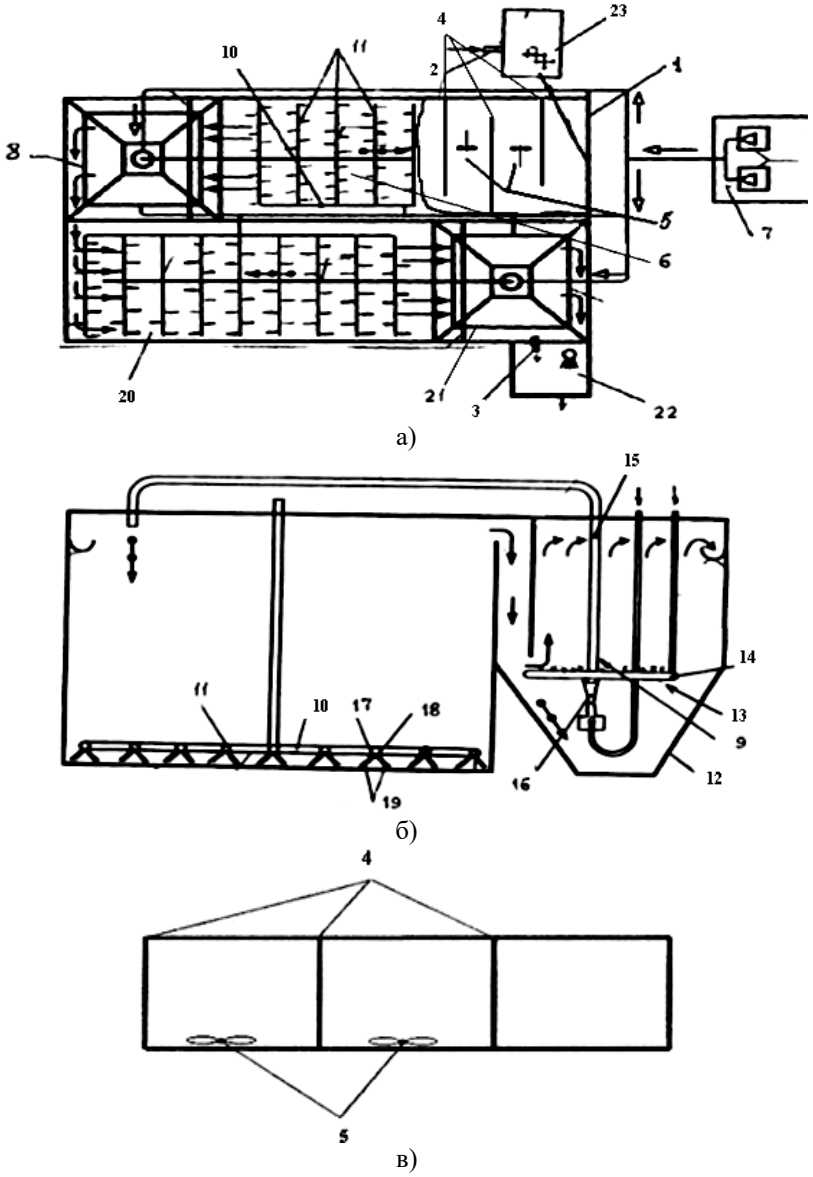


Рис. 2. Устройство для очистки сточных вод от биогенных элементов
(иллюстрация https://www1.fips.ru/ – патент № 189857):
а) вид сверху, б) вид сбоку, в) схема расположения погружных мешалок:
1 – аэротенк; 2 – патрубок подвода очищаемой воды; 3 – патрубок отвода очищенной воды;
4 – анаэробная зона с перегородками с проемами; 5 – погружные мешалки; 6 – система аэрации;
7 – источник сжатого воздуха компрессором, 8 – отстойник; 9 – эрлифты; 10 – труба-коллектор;
11 – перфорированные трубки; 12 – конический приямок; 13 – пневмоворошитель;
14 – замкнутые перфорированные трубы; 15 – вертикальная труба эрлифта;
16 – газожидкостный эжектор; 17 – первый ряд отверстий; 18 – второй ряд отверстий;
19 – штуцеры; 20 – второй аэротенк; 21 – второй отстойник; 22 – узел обеззараживания;
23 – сетчатый фильтр

Транспортирование активного ила эрллифтом 9 из отстойника 21 производится эффективно за счет высокой скорости движения иловоздушной смеси (со скоростью от 1 до 4 м/с), что обуславливается подачей соответствующего количества воздуха в эрлифт 9. Благодаря такому подходу сохраняется жизненный цикл микроорганизмов ила благодаря предостаточному времени его нахождения в системе рециркуляции, таким же образом осуществляется процесс перекачки активного ила из отстойника 8 в аэротенк 1.

Достоинством данного устройства является высокая эффективность очистки сточных вод за счет органичного сочетания анаэробной и аэробной зоны очистки. Установка перегородок в анаэробной зоне увеличивает время очистки, однако впухание

активного ила предотвращается за счет оборудования погружными мешалками, что дает более глубокую очистку сточных вод от биогенных элементов. Процесс денитрификации по затратам энергии более экономичен. При денитрификации прирост активного ила существенно ниже, чем на стадии окисления, благодаря этому формируются лучшие условия для последующей обработки сточных вод. Усовершенствование конструкции устройства позволяет повысить эффективность и глубину очистки сточных вод.

Качественные и количественные характеристики результатов реконструкции

При помощи традиционной системы биологической очистки, которая работает в режиме нитрификации, можно достичь снижения концентраций биогенных элементов (азота и фосфора в частности) только на 60 %. После усовершенствования с использованием сочетания анаэробной и аэробной зон эффективность очистки составляет 80-90 %. Этот факт подтверждают показатели, представленные в таблице.

Таблица

Показатель	До усовершенствования		После усовершенствования	
	Исходные воды	Очищенные воды	Исходные воды	Очищенные воды
БПК, мг/л	300-450	4,5-7	300-450	2,5-3
$N\text{-}NH_4$, мг/л	15-20	7-8	15-20	1-3
$P_{общ}$, мг/л	3-4,5	1,5-2	3-4,5	0,3-0,5

Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволили разработать эффективный способ реконструкции сооружений биологической очистки сточных вод с целью интенсификации извлечения биогенных элементов. Его использование позволяет достичь высокой эффективности процесса за счет органичного сочетания анаэробной и аэробной зоны, установка перегородок в анаэробной зоне увеличивает время очистки, однако вспухание активного ила предотвращается за счет оборудования данной зоны погружными мешалками, что вместе дает более глубокую очистку от биогенных элементов.

Список библиографических ссылок

1. Саинова В. Н. Новые технологии и режимы процессов очистки сточных вод пищевых производств. Астрахань : АГТУ, 2012.104 с.
2. Устройство для очистки сточных вод : пат. 189857 Рос. Федерация. № 2018142531 ; заявл. 30.11.2018 ; опубл. 06.06.2019, Бюл. № 16. 7 с.
3. Устройство для биологической очистки сточных вод : пат. 120095 Рос. Федерация. № 2012107642/05; заявл. 01.03.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25. 5 с.
4. Kalinina O., Goryachkin S. V., Lyuri D. I., Giani L. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // Catena. 2015. V. 129. P. 18–29.
5. Долина Л. Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов. Днепропетровск : Континент. 2011. 198 с.
6. Jim L., Wescoat Jr. Water Resources and Sustainable Water management // International Encyclopedia of the Social &Behavioral Sciences (second Editional). 2015. P. 437–442.
7. Белова М. А., Зайцева И. И. Практические результаты биотестирования сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 1. С. 23–24.

8. Орлов В. А., Хренов К. Е., Орлов Е. В. Инженерно-технологическая реконструкция систем водоснабжения и водоотведения. М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 280 с.
9. Орлов В. А. Реконструкция систем водоснабжения. М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2017. 208 с.
10. Саинова В. Н., Катков И. С. Несколько слов об очистке сточных вод от соединений азота и фосфора // astu.org : Материалы 68-й Международной студенческой научно-технической конференции. 2018. URL: http://astu.org/Content/Page/5833 (дата обращения: 01.10.2019).

Sainova Victoria Nikolaevna
candidate of technical sciences, associate professor
Email: kivragtu@gmail.com
Katkov Ilya Sergeevich
laboratory assistant
Email: ilyakat121995@gmail.com
Hounas Kaci
candidate of technical sciences
E-mail: hkaci@yandex.ru
Astrakhan State Technical University
The organization address: 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev st., 16.

Reconstruction of biological wastewater treatment plants to intensify the extraction of nutrients

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to consider possible methods for the reconstruction of biological wastewater treatment plants for the intensification of nutrient elements' extraction from them.

Results. Modern technologies that are the theoretical aspects of the process are considered. The main results of the study are the development of the reconstruction option of existing biological wastewater treatment plants, which allows achieving high process efficiency due to the organic combination of anaerobic and aerobic zones.

Conclusions. The significance of the received results for the construction industry lies in the technology improvement opportunities for deep wastewater treatment for the design and construction of wastewater systems. After improvement the cleaning efficiency can reach 90 %.

Keywords: aeration tank, wastewater treatment, wastewater, biological treatment, nutrients.

References

1. Sainova V. N. New technologies and modes of wastewater treatment processes in food production. Astrakhan : ASTU, 2012. 104 p.
2. A device for wastewater treatment : Pat. 189857 Rus. Federation. № 2018142531; declared 11.30.2018 ; publ. 06.06.2019, Bull. № 16. 7 p.
3. Device for biological wastewater treatment : Pat. 120095 Rus. Federation. № 2012107642/05 ; declared 03.01.2012 ; publ. 09.10.2012, Bull. № 25. 5 p.
4. Kalinina O., Goryachkin S. V., Lyuri D. I., Giani L. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // Catena. 2015. V. 129. P. 18–29.
5. Dolina L. F. Wastewater treatment of nutrients. Dnepropetrovsk : Continent. 2011. 198 p.
6. Jim L., Wescoat Jr. Water Resources and Sustainable Water management. // International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (second Editional). 2015. P. 437–442.

7. Belova M. A., Zaitseva I. I. Practical results of wastewater biotesting // Vodosnabjeniye I sanitarnaya technika. 2013. № 1. P. 23–24.
8. Orlov V. A., Khrenov K. E., Orlov E. V. Engineering and technological reconstruction of water supply and sanitation systems. M. : Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2019. 280 p.
9. Orlov V. A. Reconstruction of water supply systems. M. : Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2017. 208 p.
10. Sainova V. N., Katkov I. S. A few words about wastewater treatment from compounds of nitrogen and phosphorus // astu.org: Materials of the 68th International Student Scientific and Technical Conference. 2018. URL: http://astu.org/Content/Page/5833 (reference date: 01.10. 2019).

УДК 691.32
Богданов Руслан Равильевич
ассистент
E-mail: bogdanov.r.r@yandex.ru
Ибрагимов Руслан Абдирашитович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: rusmag007@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Королев Евгений Валерьевич
доктор технических наук, профессор
E-mail: korolev@nocnt.ru
НИУ Московский государственный строительный университет
Адрес организации: 129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Оптимизация фракционного состава смеси заполнителей для самоуплотняющегося бетона

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определить оптимальный фракционный состав смеси заполнителей, обеспечивающей достижение максимальной насыпной плотности и пригодной для самоуплотняющегося бетона.

Результаты. Основные результаты исследования заключаются в определении фракционного состава заполнителей для самоуплотняющегося бетона, предназначенного для гидроизоляции плоских кровель. Для решения сформулированной задачи применялись математические методы планирования активного эксперимента, а именно, симплекс-решетчатый план. Установлено, что максимальной насыпной плотностью обладает смесь, состоящей: крупный заполнитель (щебень) фракции 5-10 мм – 48 %; обогащенный мелкий заполнитель (крупный песок) фракции 0,16-5 мм – 16 %; мелкий заполнитель (мелкий песок) фракции 0,16-0,63 мм – 36 %. При этом максимальная насыпная плотность и плотность упаковки частиц смеси заполнителей составила, соответственно, 1840 кг/м^3 и 0,82.

Выводы. Значимость результатов работы для строительного материаловедения заключаются в расширении представлений о формировании плотных упаковок на рассмотренную рецептурную систему, характеризующуюся собственными физическими (вещественными и геометрическими) параметрами, а также в установлении зависимости, демонстрирующей локальные преимущества одновременного применения как непрерывной, так и прерывистой гранулометрии. Значимость результатов работы для строительной отрасли заключается в установлении оптимального соотношения смеси заполнителей, позволяющего получить самоуплотняющиеся бетоны с высокими физико-техническими свойствами.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, фракционный состав, математическое планирование эксперимента, плотность упаковки, насыпная плотность, симплекс-решетчатый план, заполнитель

Введение

При проектировании состава самоуплотняющегося бетона (СУБ) важной является задача получения оптимального гранулометрического состава смеси с целью обеспечения наиболее плотной упаковки зерен [1-7]. Данная задача решается двумя способами: 1) через получение «идеальной» кривой рассева заполнителей; 2) смешивание трех и более видов крупного и мелкого заполнителей [8, 9]. На практике чаще применяется второй способ, ввиду его меньшей трудоемкости по сравнению с первым способом.

Непрерывные кривые рассева дисперсных систем, обеспечивающие наибольшую плотность упаковки, принято считать эталонными [8]. В качестве примера «идеальных»

кривых можно привести кривые просеивания, предложенные Фуллером (1907) или Андреасеном (1930), уравнение которых имеет вид:

$$\frac{G_{пр}}{100} = \frac{X^n}{D^n_{max}}, \quad (1)$$

где $G_{пр}$ – проход, %, через сито размером X, мм; D^n_{max} – наибольшая крупность зерна в смеси; n – коэффициент распределения, равный по Фуллеру 0,5, по Андреасену (для пространственного распределения) – 0,37. Или кривые просеивания, предложенные Функом и Дингером (1994), уравнение которых имеет вид:

$$\frac{G_{пр}}{100} = \frac{X^n - D^n_{min}}{D^n_{max} - D^n_{min}}, \quad (2)$$

где D^n_{min} – наименьшая крупность зерна в смеси, мм [8].

Особенностью расчета гранулометрического состава СУБ, является то, что идет построение совместной кривой просеивания крупного и мелкого заполнителей, с целью приближения к «идеальной» кривой просеивания [8**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Для оптимизации состава смеси заполнителей способ с построением с получением «идеальной» кривой рассева заполнителей требует тщательную классификацию исходных сырьевых компонентов и проведение соответствующих испытаний [8], что затрудняет его применение на практике с учетом имеющейся производственной базы. В данном случае наиболее доступным, менее трудоемким является второй способ, заключающийся в смешении различных компонентов заполнителей известного фракционного состава, при этом оптимизация состава смеси заполнителей для самоуплотняющегося бетона, может быть выполнена с применением методов математического планирования (например, методом симплекс-решетчатого плана) [9]. В связи с этим возникает задача по разработке состава самоуплотняющегося бетона для гидроизоляции плоской кровли и определения фракционного состава заполнителей при условии достижения максимальной насыпной плотности и плотности упаковки частиц.

Цель работы – установление влияния содержания разноразмерных частиц заполнителя на насыпную плотность и плотность упаковки их смеси, а также определение оптимального фракционного состава смеси заполнителей, пригодной для самоуплотняющегося бетона.

Методы, материалы и оборудование, применяемые в исследовании

При проведении экспериментальных исследований в качестве основных исходных компонентов использовались: портландцемент (ПЦ) ЦЕМ II/А-К (Ш-П) 32,5Б ГОСТ 31108-2016 производства ЗАО «Ульяновскцемент»; в качестве мелкого заполнителя песок производства ЗАО «Кулонстрой» с модулем крупности $М_к$=2,79 фракции 0,16-5 мм и песок с прерывистым зерновым составом имеющим модуль крупности $М_к$=1,54 фракции 0,16-0,63 мм, отвечающие требованиям ГОСТ 8736-2014; в качестве крупного заполнителя использовали щебень из плотных горных пород производства ООО «Неруд-инвест» (Челябинская область, г. Сатка) фракции 5-10 мм отвечающий требованиям ГОСТ 8267-93; в качестве активной минеральной добавки (АМД) использовали метакаолин – аморфный силикат алюминия месторождения Журавлиный Лог (ТУ 5729-095-51460677-2009); химические добавки: гиперпластификатор (ГП) «Remicrete SP 10» и гидрофобизатор (ГФ) «Типром С»; в качестве дисперсного армирования использовали – стальную фибру «Челябинка» (длина фибры 36-38 мм).

Определение насыпной плотности заполнителей проводили согласно ГОСТ 9758 – 2012. Определение подвижности растворных смесей осуществлялось по ГОСТ 310.4, а средней плотности ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний». Определение средней плотности, расслаиваемости, пористости, температуры, объема вовлеченного воздуха, сохраняемости свойств во времени бетонной смеси выполняли по ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний», определение удобоукладываемости и вязкости самоуплотняющейся бетонной смеси выполняли по ГОСТ Р 57833-2017 «Часть 8. Самоуплотняющаяся бетонная смесь. Испытание на расплыв». Определение средней плотности бетона производилось по ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности».

Оптимизация состава смеси крупного и мелкого заполнителей для самоуплотняющегося бетона выполнена методом симплекс-решетчатого плана и вероятностно-статистической обработки полученных данных. Полученные данные обрабатывались в программном комплексе Statistica 13.2.

Результаты исследования

В соответствии с рекомендациями СП 70.13330 (п.5.2.5), наибольшая крупность заполнителя для тонкостенных конструкций должна быть не более 1/2-1/3 толщины конструкции. Следовательно, при устройстве кровли по конструкции [10] оптимальная крупность заполнителя составляет не более 10 мм.

Для оптимизации гранулометрического состава смеси заполнителей принят второй способ (смешивание трех и более видов крупного и мелкого заполнителей), ввиду его меньшей трудоемкости. Вначале определен оптимальный гранулометрический состав (по критерию оптимальной упаковки заполнителя) двухкомпонентной системы состоящей из щебня фракции 5-10 мм и обогащенного песка фракции 0,16-5 мм. Для выбора оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей построена зависимость плотности упаковки смеси от доли песка в смеси заполнителей (*r*) (рис. 1).

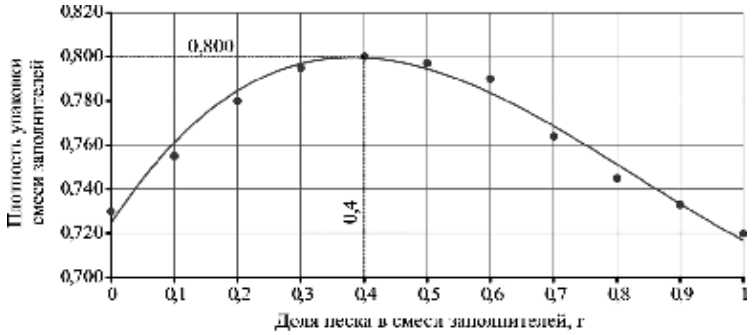


Рис. 1. Зависимость плотности упаковки двухкомпонентной системы от доли обогащенного песка фракции 0,16-5 мм в смеси (иллюстрация авторов)

Из рис. 1 видно, что набольшая плотность упаковки частиц (0,80) достигается при содержании обогащенного песка r = 0,4. При этом насыпная плотность смеси составила 1805 кг/м^3.

Для увеличения плотности смеси необходимо введение мелкого песка фракции 0,16-0,63 мм.

Оптимизация состава смеси заполнителей, для самоуплотняющегося бетона, выполнена методом симплекс-решетчатого плана. Областью изучения оптимизации содержания трех заполнителей является треугольник (рис. 2).

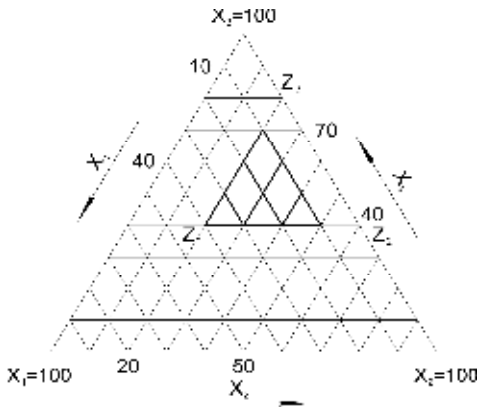


Рис. 2. Уточненная зона поиска оптимального значения соотношения компонент смеси (иллюстрация авторов)

Каждая сторона этого треугольника (рис. 2) отображает состав частиц, сумма которых равна единице:

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1,$$

где X_1 – песок фракции 0,16-0,63 мм; X_2 – песок фракции 0,16-5 мм; X_3 – щебень фракции 5-10 мм.

На основе выявленного оптимального содержания крупного и мелкого заполнителей двухкомпонентной смеси, а также согласно данным полученным в работах [2, 4, 8, 9] принимаем следующий упрощенный диапазон для состава заполнителей:

$$X_1 = 10 \div 40\ \%,$$
$$X_2 = 20 \div 50\ \%,$$
$$X_3 = 40 \div 70\ \%.$$

Координаты зоны, обозначенные Z:

$Z_1(0,40;0,20;0,40)$; $Z_2(0,00;0,60;0,40)$; $Z_3(0,00;0,20;0,80)$.

Полученные в результате эксперимента значения насыпной плотности и плотности упаковки смеси заполнителей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения определения уравнений регрессии

№ п/п	Знак У	Соотношение компонентов			Насыпная плотность, $\rho_{ср}$, кг/м^3	Плотность упаковки, (ϕ)
		Z_1 0,16-0,63	Z_2 0,16-5	Z_3 5-10		
1	$У_1$	1	0	0	1795	0,795
2	$У_2$	0	1	0	1825	0,800
3	$У_3$	0	0	1	1810	0,797
4	$У_4$	0,5	0,5	0	1830	0,807
5	$У_5$	0,5	0	0,5	1805	0,800
6	$У_6$	0	0,5	0,5	1825	0,810
7	$У_7$	0,6	0,2	0,2	1825	0,800
8	$У_8$	0,2	0,6	0,2	1840	0,820
9	$У_9$	0,2	0,2	0,6	1830	0,797
10	$У_{10}$	0,333	0,333	0,333	1835	0,812

Матрица эксперимента (табл. 1) включает три компонента смеси: Z_1 – песок фракции 0,16-0,63 мм; Z_2 – песок фракции 0,16-5 мм; Z_3 – щебень фракции 5-10 мм.

Диаграмма для определения оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей по плотности упаковки заполнителей приведена на рис. 3.

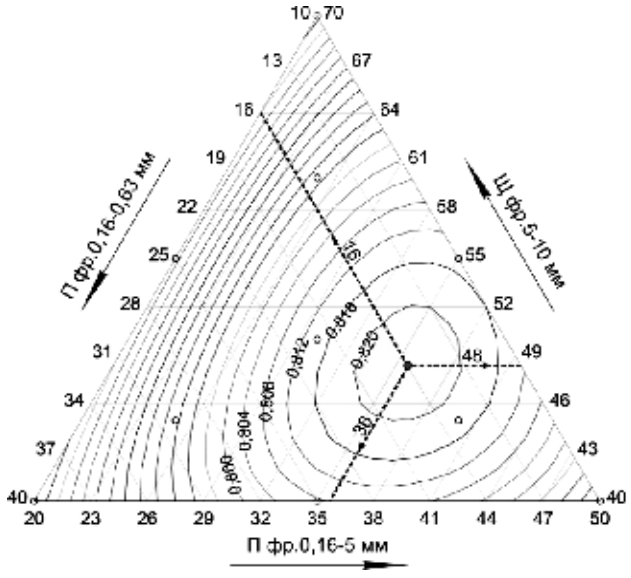


Рис. 3. Диаграмма для определения оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей по плотности упаковки заполнителей (иллюстрация авторов)

Произведена обработка результатов математического планирования, которая позволила получить математические зависимости (3) и (4).

Зависимость насыпной плотности смеси заполнителей от содержания заполнителей:

$$\rho=1795,5\cdot X_1+1825,06\cdot X_2+1810,97\cdot X_3+81,15\cdot X_1\cdot X_2+12,97\cdot X_1\cdot X_3+32,06\cdot X_2\cdot X_3+ +407,65\cdot X_1\cdot X_2\cdot X_3. \quad (3)$$

Зависимость плотности упаковки от содержания заполнителей:

$$\phi=0,794\cdot X_1+0,803\cdot X_2+0,795\cdot X_3+0,0418\cdot X_1\cdot X_2+0,009\cdot X_1\cdot X_3+0,047\cdot X_2\cdot X_3+ +0,068\cdot X_1\cdot X_2\cdot X_3. \quad (4)$$

Анализ диаграммы (рис. 3), уравнений регрессии (3) и (4) позволил определить оптимальную область соотношения крупного и мелких заполнителей, при следующем содержании: щебень фракции 5-10 мм – 48 %; обогащенный песок фракции 0,16-5 мм – 36 %; мелкий песок фракции 0,16-0,63 мм – 16 %.

Подбор состава СУБ производится на основании принципов, таких же, как и для подбора обычных бетонов с учетом особенностей, а именно, обязательное использование пластифицирующих добавок и дополнительные требования к качеству и количеству компонентов смеси. Дополнительные требования к компонентам смеси: портландцемент с содержанием C_3A не более 8 %, соответствующий ГОСТ 31108; песок с модулем крупности $M_к$=1,1–3, соответствующий ГОСТ 8736; крупный заполнитель фракции не более 20 мм, соответствующий ГОСТ 8267. В качестве добавок использовали пластификатор, соответствующий ГОСТ 24211; минеральные добавки, соответствующие ГОСТ Р 56592, включая активные минеральные добавки. В качестве компонента, повышающего сегрегационную устойчивость, может применяться полипропиленовая фибра.

Подбор состава СУБ выполнен согласно рекомендациям НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» подбора состава СУБ [11], определен состав СУБ, расход цемента. Выявлено, что минимальный расход портландцемента для достижения требуемой подвижности (расплыв конуса в пределах 550-650 мм, соответствует классу SF1 (EH 12350-8)) без расслоения СУБС составляет 450 кг/м^3. На основании полученной зависимости (рисунок 3) для получения оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей доля щебня в смеси заполнителей составляет 900 кг/м^3, песка фракции 0,16-5 мм – 600 кг/м^3, песка фракции 0,16-0,63 мм – 300 кг/м^3.

Состав полученной самоуплотняющейся бетонной смеси представлен в табл. 2

Таблица 2

Состав бетонной смеси, кг/м^3

ПЦ	Щ	П1	П2	МтК	ГП	ГФ	Ф1	Ф2	В
450	905	300	595	22,5	6,75	0,675	36	2,7	170

Примечания: ПЦ – портландцемент; МтК – метакаолин; П1 – песок фр. 0,16-0,63 мм; П2 – песок фр. 0,16-5 мм; Щ – щебень; ГП – гиперпластификатор; ГФ – гидрофобизатор; Ф1 – фибра «Челябинка»; Ф2 – фибра ВСМ 18 мм; В – вода

Определены основные технологические свойства самоуплотняющейся бетонной смеси, испытания проведены в соответствии с ГОСТ 10181-2014 и ГОСТ Р 57833-2017. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства самоуплотняющейся бетонной смеси

Характеристика	Показатель
Плотность, кг/м^3	2470
Расплыв определенный по EN 12350-8, мм	600-640
Класс удобоукладываемости по расплыву для СУБ	SF1
Класс вязкости t_{500}	VS2
Расслаиваемость: Растворотделение, % Водоотделение, %	 2,7 0,45
Сохраняемость свойств, мин	120

Как видно из результатов, приведенных в таблице 3, разработанный СУБ имеет высокую устойчивость к расслоению, о чем свидетельствует низкое растворотделение и водоотделение.

Определены физико-механические свойства разработанного самоуплотняющегося бетона. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Физико-механические свойства СУБ

Характеристика	Показатель
Плотность, кг/м^3	2470
Предел прочности при сжатии в возрасте 3сут., МПа	42,5
Предел прочности при сжатии в возрасте 7сут., МПа	56,9
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут., МПа	64,62
Удельный предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут., отнесенный к расходу портландцемента, МПа/кг	0,14
Предел прочности на растяжение при изгибе в возрасте 28сут., МПа	8,97
Критический коэффициент интенсивности напряжений	1,86
Модуль упругости, 10^3 МПа	39,38
Марка по водонепроницаемости	W16
Водопоглощение по массе, %	1,48
Марка по морозостойкости	F600
Усадка, мм/м	0,2
Коэффициент линейного расширения бетона, $10^{-5}\cdot{}^{\circ}C^{-1}$	0,8
Показатели пористости: - полный объем пор, % - объем открытых капиллярных пор, % - объем условно-закрытых пор, %	 8,48 3,65 3,14

Получение высокой марки по морозостойкости F600 объясняется синергетическим действием компонентов комплексного модификатора. Происходит повышение плотности бетона за счет действия пластификатора, резко снижающего В/Ц при сохранении подвижности, и метакаолина, способствующему уплотнению структуры бетона и образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, более стабильных при циклических воздействиях «замораживание – оттаивание» [12]. Важную функцию выполняет гидрофобизатор за счет резкого увеличения гидрофобности стенок пор и капилляров бетона (Буланов П.Е., Вдовин Е.А., Мавлиев Л.Ф., Строганов В.Ф. Оптимизация состава и исследование влияния комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки на физико-технические свойства, укрепленных портландцементом, глинистых грунтов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4 (42). С. 376-383). Также уменьшается средний размер пор, что в совокупности с их гидрофобностью существенно повышает непроницаемость бетона: наблюдается снижение массопоглощения жидкости.

Заключение

1. Определен оптимальный состав смеси заполнителей для самоуплотняющегося бетона, предназначенного для гидроизоляции плоских кровель: щебень фракции 5-10 мм – 48 %; обогащенный песок фракции 0,16-5 мм – 16 %; мелкий песок фракции 0,16-0,63 мм – 36 %. При указанных соотношениях фракций смесь заполнителей обладает максимальной насыпной плотностью и плотностью упаковки частиц – 1840 кг/м^3 и 0,82, соответственно.

2. Установленные зависимости плотности упаковки и насыпной плотности смеси заполнителей от их содержания количества расширяют представления о формировании плотных упаковок на рассмотренную рецептурную систему, характеризующуюся собственными физическими (вещественными и геометрическими) параметрами, также установленные зависимости, демонстрируют локальные преимущества в одновременном

применении как непрерывной, так и прерывистой гранулометрии. Кроме того, полученные зависимости позволяют получить самоуплотняющиеся бетоны с высокими физико-техническими свойствами с минимальными трудозатратами из имеющейся материально-сырьевой базы.

3. Определены основные технологические свойства самоуплотняющейся бетонной смеси (средняя плотность – 2470 кг/м^3, растворотделение 2,7 %, водоотделение – 0,45 %, сохраняемость свойств во времени бетонной смеси – 120 мин, класс удобоукладываемости по расплыву – SF1, класс вязкости t_{500} – VS2) и физико-механические свойства полученного бетона (прочность – 64,62 МПа, модуль упругости – 39,38 ГПа, трещиностойкость – ККИН 1,86 и относительная усадка – $0{,}2x10^{-3}$). Установлены показатели СУБ, определяющие его долговечность: морозостойкость – F600, водонепроницаемость – W16.

Список библиографических ссылок

1. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // Advanced Concrete Technology. 2003. № 1. P. 5–15.
2. Adekunle S. K., Ahmad S., Maslehuddin M. The effect of aggregate packing on the performance of SCC using dune sand // Proceedings of the Fifth North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, Chicago,Illinois, USA, May 12–15, 2013 – Adekunle, Ahmad & Maslehuddin.
3. Collepardi M. Self Compacting concrete: what is new? // Proc. IV International Conference. Ottawa (Canada), 2004. P. 13–19.
4. Piasta J. Rheological Properties of Concretes with Fine Aggregate // Cement and Concrete Researh. 1985. Vol. 15. № 2. P. 253–260.
5. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л., Марчук В. В. Самоуплотняющиеся цементно-зольные бетоны // Технологии бетонов. 2014. № 4 (93). С. 24–27.
6. Каприелов С. С., Травуш В. И., Карпенко Н. И., Шейнфельд А. В., Кардумян Г. С., Киселева Ю. А., Пригоженко О. В. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити» // Строительные материалы. 2006. № 10. С. 13–18.
7. Морозов Н. М., Хозин В. Г., Красиникова Н. М. Структурные особенности высокопрочных песчаных бетонов // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 2 (990). С. 46–48.
8. Белов В. В., Смирнов М. А. Инновационные решения в технологии высокотехнологических бетонов: статья // Вестник Тверского государственного технического университета. Вып. 17 / Тверской ГТУ. Тверь, 2010. С. 126–131.
9. Баженов Ю. М., Воронин В. В., Алимов Л. А., Бахрах А. М., Ларсен О. А., Соловьев В. Н., Нгуен Д. В. К. Высококачественные самоуплотняющиеся бетоны с использованием отходов сжигания угля // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 12 (111). С. 1385–1391.
10. Bogdanov R. R., Ibragimov R. A. Development of flat roof construction with waterproofing from modified self-compacting concrete // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 262 (2017) 012012 doi:10.1088/1757-899X/262/1/012012.
11. Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов. Методическое пособие / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве». М., 2016. 100 с.
12. Ibragimov R. A., Bogdanov R. R. The influence of a complex modifying agent on the hydration and structure formation of self-compacting concrete // ZKG: Zement – Kalk – Gips International. 2017. Т. 70. № 4. С. 44–49.

Bogdanov Ruslan Ravil'evich
assistant
E-mail: bogdanov.r.r@yandex.ru
Ibragimov Ruslan Abdirashitovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: rusmag007@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Korolev Evgeny Valer'evich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: korolev@nocnt.ru
NRU Moscow State University of Civil Engineering
The organization address: 129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26

Optimization of the fractional composition of the aggregate mixture for self-compacting concrete

Abstract

Problem statement. The aim of the study was to determine the optimal fractional composition of aggregates for self-compacting concrete, provided that the maximum bulk density and particle packing density were achieved.

Results. The main results of the study are to determine the fractional composition of aggregates for self-compacting concrete, designed for waterproofing flat roofs. To solve the formulated problem, mathematical methods of planning an active experiment were used, namely, a simplex-lattice plan. It was found that the mixture has the maximum bulk density, consisting of: coarse aggregate (crushed stone) fraction 5-10 mm – 48 %; enriched fine aggregate (coarse sand) of a fraction of 0,16-5 mm – 16 %; fine aggregate (fine sand) fractions of 0,16-0,63 mm – 36 %. In this case, the maximum bulk density and packing density of the particles of the aggregate mixture were 1840 kg/m^3 and 0,82, respectively.

Conclusions. The significance of the results of the work for building materials science lies in the expansion of ideas about the formation of dense packaging for the considered recipe system, characterized by its own physical (material and geometric) parameters, as well as in establishing a relationship that demonstrates the local advantages of the simultaneous use of both continuous and discontinuous granulometry. The significance of the results of the work for the construction industry lies in establishing the optimal ratio of the mixture of aggregates, which allows to obtain self-compacting concrete with high physical and technical properties.

Keywords: self-compacting concrete, fractional composition, mathematical design of the experiment, packing density, bulk density, simplex-lattice plan, aggregate.

References

1. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // Advanced Concrete Technology. 2003. № 1. P. 5–15.
2. Adekunle S. K., Ahmad S., Maslehuddin M. The effect of aggregate packing on the performance of SCC using dune sand // Proceedings of the Fifth North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, Chicago,Illinois, USA. 2013. P. 12–15.
3. Collepardi M. Self Compacting concrete: what is new? // Proc. IV International Conference. Ottawa (Canada), 2004. P. 13–19.
4. Piasta J. Rheological Properties of Concretes with Fine Aggregate // Cement and Concrete Researh. 1985. Vol. 15. № 2. P. 253–260.
5. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L., Marchuk V. V. Self-compacting cement-ash concrete // Tekhnologii betonov. 2014. № 4 (93). P. 24–27.

6. Kaprielov S. S., Travush V. I., Karpenko N. I., Sheinfeld A. V., Kardumyan G. S., Kiseleva Yu. A., Prigozhenko O. V. Modified concretes of a new generation in the constructions of the Moscow City Business Center // Stroitel'nye materialy. 2006. № 10. P. 13–18.
7. Morozov N. M., Khozin V. G., Krasinikova N. M. Structural features of high-strength sandy concrete // BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki. 2017. № 2 (990). P. 46–48.
8. Belov V. V., Smirnov M. A. Innovative solutions in the technology of high-tech concrete // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Vol. 17. 2010. P. 126–131.
9. Bazhenov Yu. M., Voronin V. V., Alimov L. A., Bahrakh A. M., Larsen O. A., Soloviev V. N., Nguyen D. V. K. High-quality self-compacting concrete using coal combustion waste // Vestnik MGSU. 2017. Vol. 12. № 12 (111). P. 1385–1391.
10. Bogdanov R. R., Ibragimov R. A. Development of flat roof construction with waterproofing from modified self-compacting concrete // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 262 (2017) 012012 doi:10.1088/1757-899X/262/1/012012.
11. Recommendations on the selection of concrete mixes for heavy and fine concrete. Methodical manual / Ministerstvo stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva Rossijskoj Federacii Federal'noe avtonomnoe uchrezhdenie «Federal'nyj centr normirovaniya, standartizacii i ocenki sootvetstviya v stroitel'stve». M., 2016. 100 p.
12. Ibragimov R. A., Bogdanov R. R. The influence of a complex modifying agent on the hydration and structure formation of self-compacting concrete // ZKG: Zement – Kalk – Gips International. 2017. T. 70. № 4. P. 44–49.

УДК 691.33
Камалова Загиря Абдуловна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: zagira_kamalova@mail.ru
Сагдиев Руслан Рустемович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: Ruslan-kgasu@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Александрова Маргарита Андреевна
помощник главного инженера проекта
E-mail: alexspit@bk.ru
ООО «Вектор»
Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. Толстого, д. 41, оф. 27
Валиев Алмаз Илсурович
инженер-конструктор
E-mail: almazon050@mail.ru
ООО «МавиКазань»
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Калинина, д. 60

Разработка метода прогнозирования долговечности трехслойной кровельной конструкции

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработка методики прогнозирования долговечности трехслойных ограждающих конструкций на примере кровельных сэндвич-панелей с наполнителем из пенополистирола.

Результаты. Основные результаты исследования состоят:

- в анализе нормативных предпосылок к вопросу прогнозирования долговечности ограждающих конструкций;
- в изучении существующих методик прогнозирования долговечности ограждающих конструкций;
- в разработке конечно-элементной модели кровельной сэндвич-панели, позволяющей изучить механизм потери эксплуатационных качеств, исследуемых материалов, определить основные факторы, влияющие на их эксплуатационный ресурс;
- в моделировании работы кровельных сэндвич-панелей под нагрузкой при помощи ПК «Лира»;
- в исследовании закономерности разрушения и деформирования кровельных сэндвич-панелей с наполнителем из пенополистирола при вариации заданных постоянных напряжений и температур.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в совершенствовании методов прогнозирования долговечности ограждающих конструкций, позволяющих определить срок службы строительных материалов и изделий.

Ключевые слова: сэндвич-панель, пенополистирол, конструкции полистовой сборки, панели максимальной заводской готовности, блок-фермы, долговечность, прогнозирование, температурно-временная аналогия.

Введение

ФЗ № 261 «Об энергосбережении» гласит: «Застройщики обязаны обеспечить соответствие зданий, строений, сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов путем выбора оптимальных архитектурных, функционально-технологических, конструктивных и инженерно-технических решений и их надлежащей реализации при осуществлении строительства, реконструкции, капитального ремонта». Поэтому строительная отрасль нуждается в применении энергоэффективных материалов.

В последние годы на рынке выросла доля производства таких, распространенных в настоящее время, теплоизоляционных конструкций как сэндвич-панели, использование которых позволяет быстро и с минимумом трудозатрат возводить здания различного назначения. Но ни один из производителей не гарантирует тот или иной срок безотказной работы конструкции.

При использовании в строительстве тех или иных ограждающих конструкций ценятся не только сроки строительства и высокие прочностные и теплотехнические свойства, но и долговечность, которая обеспечивала бы экономическую целесообразность. Поэтому для безопасной эксплуатации зданий и сооружений с применением сэндвич-панелей необходима разработка методики прогнозирования безотказного срока службы конструкции.

Сэндвич-панели представляют собой композиционный материал, который состоит из внутреннего слоя теплоизоляционного материала (пенопласта) и двух наружных слоев, выполняющих функцию облицовки.

Как показывает практика, показатели несущей способности, а именно прочность на сдвиг в собранном виде, значительно выше по сравнению с каждым отдельным слоем панели. Наружная поверхность воспринимает нагрузку изгибающего момента вследствие равномерного распределения нагрузки и высокой адгезии соединенных частей панели, что существенно повышает устойчивость к образованию деформаций на поверхности. При этом большая часть момента сдвига принимается более толстой частью внутреннего теплоизоляционного слоя панели, которая в конечном итоге приводит к повышению прочности на сдвиг композиционной системы.

Эксплуатация сэндвич-панелей в климатических условиях России отличается рядом особенностей. Для кровельных панелей, прежде всего, это значительные снеговые нагрузки, действующие длительно в период зимы.

Перепады сезонных температур (от -40 °С до +40 °С) и значительная разница между наружной и внутренней температурами помещений также влияют на несущую способность и деформативность панелей. При неправильном выборе расчетных параметров и определении свойств материалов эти факторы могут существенно ограничить срок их эксплуатации.

При эксплуатации сэндвич-панелей в районах с суровыми климатическими условиями в связи с различием коэффициентов линейного расширения материалов в них возникают большие температурные напряжения, вследствие чего происходит разрушение пенопласта вблизи зоны склейки слоёв.

Таким образом, с практической точки зрения, при проектировании строительных конструкций с применением сэндвич-панелей и определении области их применения является возможным моделирование условий эксплуатации, их анализ и трансформация эксплуатационных факторов для надёжного прогнозирования долговечности трехслойных панелей в строительных изделиях и конструкциях [1-11].

Расчет толщины ограждающей конструкции покрытия

Для исследований была выбрана конструкция покрытия сэндвич-панелями с наполнителем из пенополистирола. Район строительства – г. Казань. В качестве объекта исследования рассматриваются трехслойные сэндвич-панели, производимые предприятием ООО Группы компаний «Стройком» в Кукморском районе РТ.

Изначально толщину панели, исходя из каталога выбранного производителя, принимаем:

– толщина металлических обшивок – 0,5 мм;

– толщина слоя пенополистирола – 150 мм;

Теплотехнический расчет принятой конструкции произведен в соответствии с действующими нормативными документами: СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

Исходные данные:

– район строительства: г. Казань;

– относительная влажность воздуха: $\varphi_в$=55 %,

– тип здания или помещения: административные и бытовые;

– вид ограждающей конструкции: покрытия;

– расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания: $t_в$=20°С;

– согласно СП 50.13330.2012 базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи $Ro^{тр}$ ($м^2$·°С/Вт) ==3,66 $м^2$°С/Вт.

– зона влажности – нормальная, влажностный режим помещения – нормальный, (в соответствии с табл. 2 в СП50.13330.2012) теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций приняты как для условий эксплуатации Б.

Схема ограждающей конструкции показана на рис. 1.

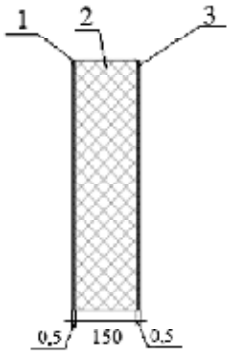


Рис. 1. Схема ограждающей конструкции (иллюстрация авторов)

1. Сталь тонколистовая оцинкованная (ГОСТ Р 52146-2003) с полимерным покрытием, толщина δ_1=0,0005 м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б2}$=48 Вт/(м°С).

2. Пенополистирол ООО ГК «Стройком», толщина δ_3=0,15 м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б2}$=0,039 Вт/(м°С).

3. Сталь тонколистовая оцинкованная (ГОСТ Р 52146-2003) с полимерным покрытием, толщина δ_3=0,0005 м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б4}$=48 Вт/(м°С). Приведенное сопротивление теплопередаче по расчету СП 50.13330.2012: $R_0^{пр}$=3,68 $м^2$·°С/Вт. $R_0^{пр}$>$R_0^{норм}$(3,68>3,66), следовательно, ограждающая конструкция соответствует требованиям по теплопередаче.

Моделирование сэндвич-панели проводили в ПК «Лира-САПР», теоретической основой которой является метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в форме перемещений.

Так как покрытие – многослойная конструкция, то при расчете МКЭ сэндвич-панель представляется в виде совокупности конечных элементов, соединенных между собой в узловых точках, а именно – объемных конечных элементов с оболочками с верхней и нижней стороны.

Для более точного представления результатов, плиту разобьем на конечные элементы размерами 50×50×10 мм.

По результатам полного расчета смоделированной трехслойной плиты покрытия получены следующие результаты:

– прогиб плиты;

– действующие напряжения по трем осям в каждом конечном элементе плиты.

Средний слой в конструкции панели обеспечивает передачу нагрузки от верхней обшивки на нижнюю. Пенополистирол с клеем обеспечивает целостность конструкции и, как следствие, совместность деформации обшивок.

В результате расчета максимальный прогиб составляет 7,51 мм. При пролете *l*=3 м допустимый относительный прогиб конструкции *l*/200, что составляет 15 мм. По второму предельному состоянию конструкция имеет значительный запас.

Теплоизоляционный слой нагружен слабо, а наиболее нагруженными являются слои, примыкающие к плоской обшивке. Наибольшие напряжения в теплоизоляционном слое возникают у опор от сжатия и равны σ_z=0,175 кг/$см^2$.

В пролете напряжения не более 0,03 кг/$см^2$.

Однако для дальнейших исследований необходимо учитывать напряжения, возникающие в зоне сдвига утеплителя. Поэтому был найден конечный элемент, в котором возникают наибольшие горизонтальные перемещения, что соответствует сдвигу материала. Сжимающие напряжения, возникающие в ключевом конечном элементе, были сведены в табл. 1 для проведения экспериментальной части исследования.

Таблица 1

Значения сжимающих напряжений в области сдвига

Пролет, [м]	σ_z в зоне сдвига, [кг/см^2]	Прогиб, [мм]	Предельный прогиб, [мм]
2	0,066	3,09	10
3	0,092	7,51	15
4	0,118	13,9	20
5	0,144	22,3	25

В качестве критерия выхода из строя трехслойной кровельной конструкции с наполнителем из теплоизоляционного материала в виде пенополистирола выбрано достижение сэндвич-панелью прогиба предельной величины в результате сдвига материала наполнителя.

По теплотехническому расчету получена кровельная плита, соответствующая требованиям по теплопередаче:

– Сталь тонколистовая оцинкованная толщиной δ_1=0,5 мм;

– Пенополистирол толщиной δ_2=150 мм;

– Сталь тонколистовая оцинкованная толщиной δ_1=0,5 мм.

С помощью ПК «Лира-САПР» была смоделирована кровельная сэндвич-панель требуемых параметров и рассчитана с учетом действия собственного веса и снеговой нагрузки, соответствующей IV снеговому району. В результате получены сжимающие напряжения в зоне сдвига материала наполнителя кровельной конструкции, численные значения которых и были приложены на образцы для дальнейших экспериментальных исследований.

Модуль сдвига среднего слоя является параметром, определяющим поведение трехслойной кровельной конструкции под нагрузкой, а именно достижение сэндвич-панелью прогиба предельной величины в результате сдвига материала наполнителя. Таким образом, в качестве критерия выхода из строя конструкции принято достижение критического модуля сдвига наполнителя трехслойной конструкции.

Модуль сдвига пенополистирола определялся согласно методике, описанной в EN 14509-2009 «Панели самонесущие теплоизоляционные слоистые заводского изготовления. Технические условия».

По данной методике была испытана серия образцов для получения контрольных значений величины модуля сдвига пенополистирола. Оставшиеся образцы были испытаны после климатического старения.

Механические характеристики пенополистирола, как и большинства полимеров, значительно изменяются с течением времени под действием атмосферы, влаги и ультрафиолетового излучения. Их влияние распространяется, прежде всего, на поверхностные слои материала, однако в конструкции трехслойной панели стальные обшивки выполняют и защитные функции, что позволяет практически полностью исключить влияние перечисленных внешних воздействий.

В то же время влияние температуры распространяется на весь объем материала и приводит к его «тепловому старению», что обязательно нужно учитывать при проектировании кровельной конструкции. Поэтому в дальнейшем исследуется тепловое старение трехслойной панели под нагрузкой.

Поскольку процесс тепловой деструкции полимеров достаточно длителен, при прогнозировании изменения свойств пенополистирола предпочтение отдается ускоренным методам старения образцов материала. Режим ускоренных климатических испытаний приведен в табл. 2.

Таблица 2

Режим УКИ

Температура, °С	Нагрузка при старении, кг/см^2	Время старения, час
20	0,092	2000
	0,118	
60	0,092	
	0,118	
80	0,092	
	0,118	

Сущность метода ускоренного теплового старения заключается в выдержке образцов термопластичного материала при повышенной температуре за определенный промежуток времени с последующим испытанием образцов.

Целью испытаний в режиме ускоренного теплового старения является исследование изменения механических характеристик материала с последующим переносом полученных результатов на натурный объект – трехслойную кровельную конструкцию и прогноз срока службы эксплуатации последнего.

В данном методе проводят испытание при заданном уровне сжимающей нагрузки в течение определенного времени *t*. При проведении испытаний образец помещается внутрь камеры искусственного климата. За начальную температуру выбирается комнатная температура. Затем выполняются отдельные испытания при таком же уровне растягивающей нагрузки и при различных температурах с интервалом, не превышающем температуру стеклования полимера. При анализе результатов измерений кривые сдвига одного вида образца для разных температур строятся на одном графике в полулогарифмической шкале.

Экспериментально установлено, что для многих материалов оказывается возможным кривые податливости J–lnt, соответствующие различным температурам, совместить с кривой при $T=T^*$ путем их параллельного смещения вдоль оси времени на отрезки, являющиеся функциями температуры.

Так, для совмещения кривой, соответствующей температуре T1, с кривой, соответствующей температуре T^*, кривую 1 необходимо сместить на отрезок $\psi_1= \ln a_t(T1)$. Очевидно, что $\psi_2=\ln a_t(T2)$, $a\psi_2=\ln a_t(T^*)=0$. Функцию ψ называют функцией температурного сдвига.

Таким образом, изменение температуры испытания, по своему воздействию на процесс сдвига, эквивалентно смещению кривых податливости вдоль логарифмической оси времени. В этом и состоит сущность принципа температурно-временной аналогии. Этот принцип был сформулирован А.П. Александровым, Ю.С. Лазуркиным и Х. Лидерманом.

Функцию температурного сдвига принимаем в виде:

$$\psi= \ln a_t(T) =-C_1\cdot(T-T^*)/(C_2+T-T^*), \quad (1)$$

где C_1 и C_2 – положительные константы, которые находятся экспериментально.
Величину $\alpha_t(T)$ называют коэффициентом смещения.

Кривые податливости при температурах T и T^* совпадут, если кривую, соответствующую температуре T, сместить по оси времени на величину $\ln a_t(T)$, или, другими словами, если для нее ввести время *t'*соотношением:

$$\ln t'=\ln t - \ln a_t(T). \quad (2)$$

Отсюда

$$t'=t/a_t(T). \quad (3)$$

Так устанавливается связь между физическим t и модифицированным t' временем.

Если температура T изменяется во времени, то выражение (3) может быть применено к бесконечно малым промежуткам времени, т.е.

$$dt'= dt/c]. \quad (4)$$

В этом случае модифицированное время вычисляется следующим образом:

$$t' =\int_t^0 dt/a_t(T). \quad (5)$$

Рассмотренный принцип температурно-временной аналогии дает возможность учесть влияние температуры на реологические процессы в линейных вязкоупругих материалах. При этом параметры материальных функций не меняются при изменении температуры, но физическое время заменяется модифицированным.

Следовательно, если, помимо силового воздействия, конструкция из линейно-вязкоупругого материала подвергается еще и тепловому воздействию, то оно должно быть учтено в определяющих уравнениях введением температурных слагаемых и модифицированного времени.

Тепловое старение образцов осуществлялось при трех уровнях температуры – 20°С, 60°С и 80°С и двух уровнях нагружения – 0,092 кг/см^2 и 0,118 кг/см^2. Длительность выдержки образцов при каждой температуре составляла 14, 50 и 80 суток. Таким образом, получилось 18 групп образцов, прошедших различную температурно-временную обработку. Количество образцов в каждой группе равнялось 2.

Температурная обработка образцов при Т = 60°С производилась в сушильном шкафу (терморегулятор ТРМ500), а при Т = 80°С – в климатической камере ILKA. При каждой температуре в термостат закладывалось 12 образцов. Затем, в указанные периоды времени, из каждого термостата извлекалось по 4 образца. Отклонение температуры от заданного значения за весь период выдержки в термостате не превышало ±1°С. Образцы, прошедшие температурно-временную обработку, испытывались спустя сутки после извлечения из термостата.

В результате испытаний образцов спустя 14 суток теплового старения была получена кривая изгиба в осях прогиб-нагрузка при температурах 20°С, 60°С и 80°С.

Аналогичные зависимости были получены для 50 и 80 суток теплового старения при температурах 20°С, 60°С и 80°С.

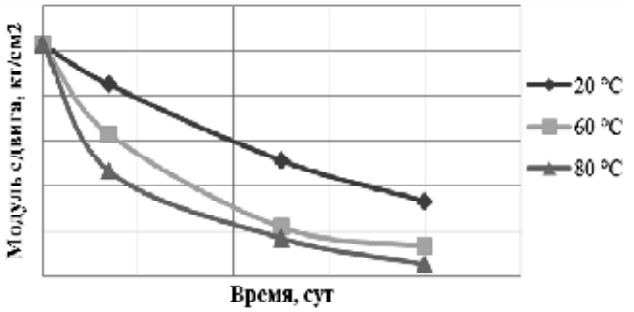
По полученным диаграммам деформирования были определены границы прямых участков для дальнейшего вычисления модуля сдвига материала наполнителя трехслойной конструкции. Исходные данные и результаты вычислений представлены в табл. 3.

Таблица 3

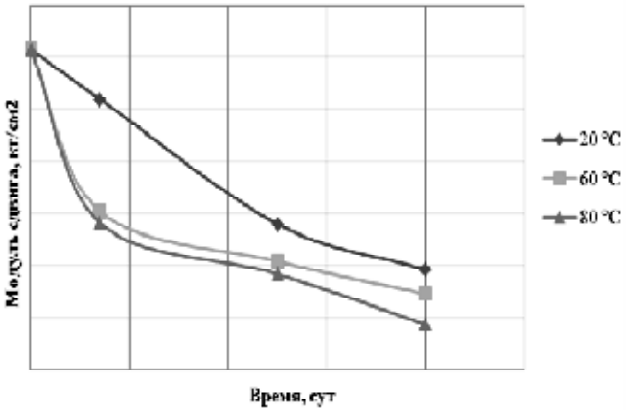
Вычисление модуля сдвига после теплового старения

Критерий	Контр. образец	Температура старения 20°С		Температура старения 60°С		Температура старения 80°С	
		0,092 кг/см^2	0,118 кг/см^2	0,092 кг/см^2	0,118 кг/см^2	0,092 кг/см^2	0,118 кг/см^2
После 14 сут. теплового старения							
Нагрузка, кг	18	16,5	15	15	15	16	16
Прогиб, мм	4,05	3,8	3,23	3,56	3,67	3,885	3,64
Модуль сдвига, кг/см^2	19,07	18,62	18,6	18,07	17,52	17,66	17,41
После 50 сут. теплового старения							
Нагрузка, кг	18	16,5	16	15,5	15,5	16	16
Прогиб, мм	4,05	3,98	3,82	3,82	3,9	3,5	3,5
Модуль сдвига, кг/см^2	19,07	17,78	17,4	17,14	17,04	16,92	16,92
После 80 сут. теплового старения							
Нагрузка, кг	18	17,5	16,5	17,5	17,5	18	17,5
Прогиб, мм	4,05	3,79	3,56	4,17	3,83	4,27	4,56
Модуль сдвига, кг/см^2	19,07	17,33	16,96	16,83	16,73	16,63	16,44

На основе полученных данных были построены зависимости модуля сдвига наполнителя панели после теплового старения при постоянной нагрузке (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Графики зависимости модуля сдвига
от времени теплового старения при постоянной нагрузке:
а) 0,092 кг/см^2, б) 0,118 кг/см^2 (иллюстрации авторов)

При тепловом старении в материале происходит усиление узлов и тяжей ячеек, а также рост анизотропии структуры материала. При этом наблюдается следующая закономерность – с увеличением величины нагружения старение материала протекает более интенсивно. Вместе с тем, при нагрузках значительной величины температура практически не оказывает влияния на процесс старения материала. Однако наибольший спад модуля сдвига образца наблюдается в первые сутки старения.

Полученные значения модуля сдвига для каждого температурно-временного режима служат основой для построения кривой длительного старения в координатах ΔG – ln t, где ΔG – приращение модуля сдвига, %, t – время старения, сут.

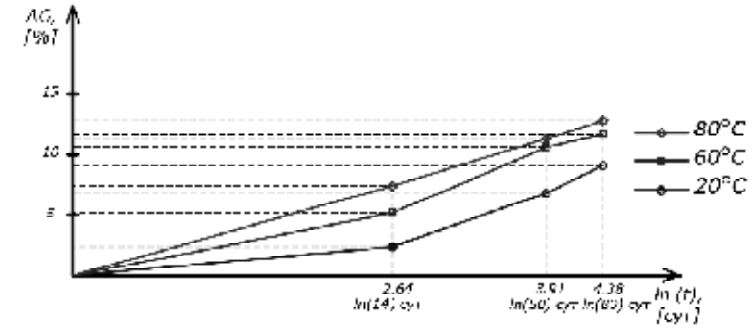
Для наглядности представления все величины падения модуля сдвига наполнителя трехслойной конструкции в процентном соотношении были сведены в единую таблицу (табл. 4).

Таблица 4

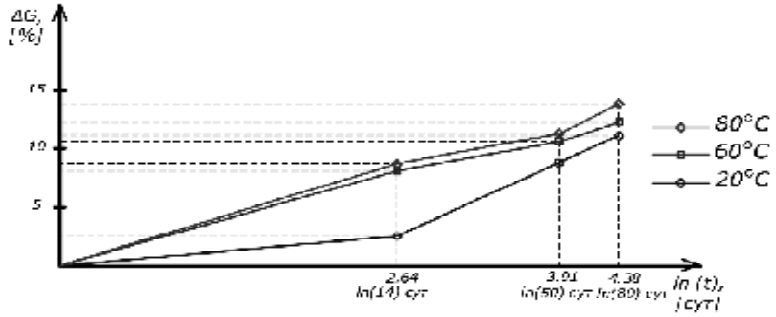
Снижение показателей модуля сдвига после 14, 50 и 80 суток теплового старения

Температура, °С	Снижение модуля сдвига, %		
	Спустя 14 сут.	Спустя 50 сут.	Спустя 80 сут.
При нагружении 0,092 кг/см^2			
20	2,4	6,8	9,1
60	5,2	10,1	11,7
80	7,4	11,3	12,8
При нагружении 0,181 кг/см^2			
20	2,5	8,8	11,1
60	8,1	10,6	12,3
80	8,7	11,3	13,8

Кривая сдвига, полученная при температуре эксперимента 20°C, берется в качестве исходной. Кривые сдвига, полученные при температурах 60°C и 80 °C, сдвигаются вдоль оси времени. Полученная обобщенная кривая является прогнозируемой долгосрочной кривой сдвига при нормальной температуре (рис. 3, 4).

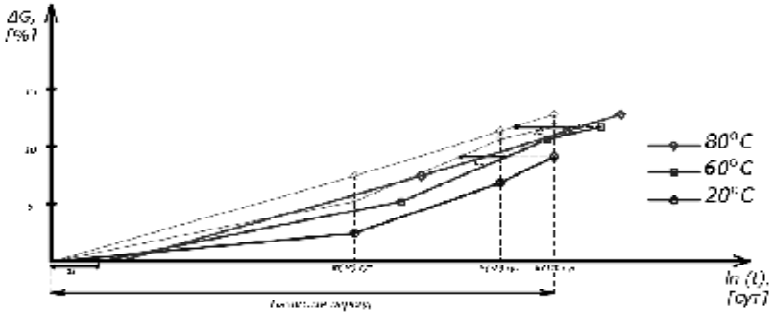


а)

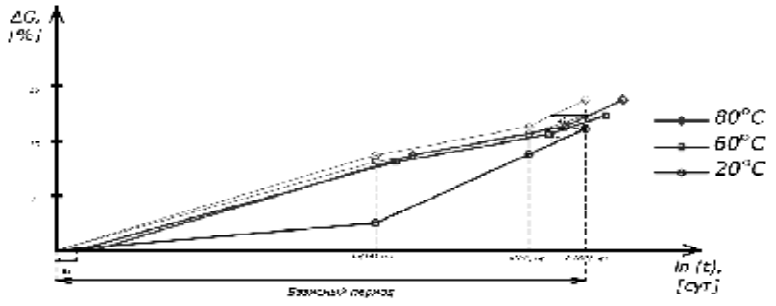


б)

Рис. 3. Кривые изменения сдвига после теплового старения при 20, 60 и 80°C для пролета конструкции: а) 3 м; б) 4 м (иллюстрации авторов)



а)



б)

Рис. 4. Построение обобщенной кривой для пролета конструкции: а) 3 м; б) 4 м (иллюстрации авторов)

Если известна минимально допустимая при эксплуатации величина модуля сдвига, при которой кровельная конструкция перестает отвечать требованиям по предельному прогибу, то можно определить время эксплуатации конструкции до выхода ее из строя по выбранному критерию предельного состояния (рис. 5).

Для этого на графике проводится горизонтальная кривая ΔG = const и отмечается координата lnτ точки пересечения с кривой старения.

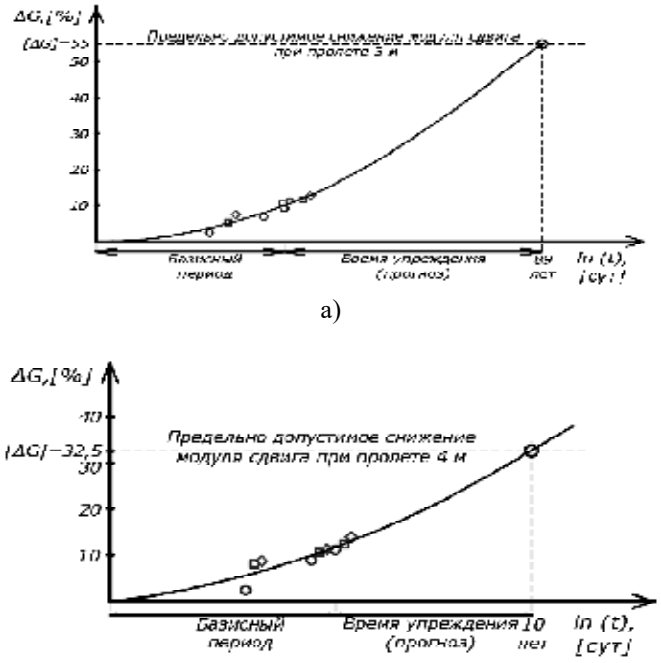


Рис. 5. Обобщенная линия долговечности трехслойной кровельной панели для пролетов: а) 3 м; б) 4 м (иллюстрации авторов)

Согласно проведенным численным исследованиям, в ПК «Лира-САПР» предельный модуль сдвига наполнителя из пенополистирола трехслойной кровельной конструкции пролетом 3 м, соответствующий достижению предельного прогиба [w]=15 мм, равен [G]=0,9 МПа=9 кг/см^2, следовательно, в процентном соотношении предельный спад модуля сдвига равен [ΔG] = 55 %.

Аналогично для трехслойных кровельных конструкций пролетом 4 м предельный модуль сдвига наполнителя из пенополистирола., соответствующий достижению предельного прогиба [w]=20 мм, равен [G]=1,35 МПа=13,5 кг/см^2, следовательно, в процентном соотношении предельный спад модуля сдвига равен [ΔG] = 32,5 %.

Имея предельные величины снижения модуля сдвига наполнителя, можно спрогнозировать срок службы безотказной работы трехслойной кровельной конструкции разного пролета (рис. 5).

Заключение

По построенным кривым долговечности был определен срок службы кровельной панели:

– для плиты пролетом 3 м – срок службы порядка 90 лет;

– для плиты пролетом 4 м – срок службы 10 лет.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что при прогнозировании долговечности трехслойной кровельной конструкции ключевым фактором является пролет конструкции, т.к. с увеличением его величины значительно возрастают ограничения по предельным значениям характеристик материала наполнителя, а именно, модуля сдвига. Наряду с этим, при малых пролетах (≤ 3 м) долговечность трехслойной кровельной конструкции составляет более 100 лет.

Прогнозирование долговечности пенополистирола производится ускоренным методом старения, сущность которого заключается в выдержке образцов материала при повышенной температуре за определенный промежуток времени с последующим испытанием образцов.

Испытания на сдвиг среднего слоя наполнителя кровельной панели производятся согласно методике, изложенной в EN 14509-2009 «Панели самонесущие теплоизоляционные слоистые заводского изготовления. Технические условия».

По результатам испытаний кривые сдвига одного вида образца для разных температур, согласно температурно-временной аналогии, были обобщены в одну кривую, которая является прогнозируемой долгосрочной кривой при нормальной температуре. Рассчитав предельную величину падения модуля сдвига, при которой кровельная панель перестает отвечать требованиям по прогибу, определен срок службы кровельной панели:

– для плиты пролетом 3 м – срок службы порядка 90 лет;

– для плиты пролетом 4 м – срок службы 10 лет.

Список библиографических ссылок

1. Rogowski B. F. Fire Performance of combustible insulation in masonry cavity walls // Fire Safety. 1986. Vol. 8. P. 119–134.
2. Guyumdzhyan P. P., Kokanin S. V., Tsibakin S. V. Research of process of ageing foam polystyrene in the conditions of ultraviolet and infrared irradiations // Scientific and technical. 2010. № 4. P. 92–96.
3. Khale D., Chaudhary R. Mexanism of geopolymerization and factors influencing its development // J. Mater. Sci. 2007. Vol. 42. P. 729–746.
4. Helbling C., Karbhari V. M. Durability Assesment of Combined Environmental Eposure and Bending: Proc. of 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. For Reinf. Concrete Structures / New Orlean, Loisiana, USA. 2005. Nov., 7010. P. 1397–1418.
5. Сулейманов А. М. Актуальные задачи в прогнозировании долговечности полимерных строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 10–13.
6. Куприянов В. Н. Климатология и физика архитектурной среды. М. : АСВ, 2016. 194 с.
7. Уржумцев Ю. С., Максимов Р. Д. Прогностика деформативности полимерных материалов. Рига : Знание, 1975. 416 с.
8. Солдатов А. А., Бедник В. С., Акобян Г. В., Текеев И. Х. Ограждающие конструкции – сэндвич панели // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 1. С. 165–167.
9. Мамонтов С. А., Киселева О. А. Влияние старения на долговечность пенополистирола // Вопросы современной науки и практики. 2012. № 2 (40). С. 39– 44.
10. Холопов И. С., Петров С. М. Оптимальное проектирование трехслойных панелей с учетом сдвиговых деформаций среднего слоя // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 36–40.
11. Ярцев В. П., Андрианов К. А., Иванов Д. В. Физико-механические и технологические основы применения пенополистирола при дополнительном утеплении зданий и сооружений. Тамбов : ТГТУ, 2010. 120 с.

Kamalova Zagira Abdulovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: zagira_kamalova@mail.ru
Sagdiev Ruslan Rustemovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: Ruslan-kgasu@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Aleksandrova Margarita Andreevna
assistant of chief engineer of the project
E-mail: alexspit@bk.ru
LLC «Vector»
The organization address: 420015, Russia, Kazan, Tolstoy st., 41, of. 27

Valiev Almaz Ilsurovich
engineer-constructor
E-mail: almazon050@mail.ru
LLC «MaviKazan»
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Kalinin st., 60

Development of a method for predicting the durability of a three-layer roofing structure

Abstract

Problem statement. The aim of the research is the development of the method for predicting the durability of three-layer walling using roofing sandwich panels with expanded polystyrene filler as an example.

Results. The main results of the study are:

- The analysis of regulatory prerequisites for the prediction of the durability of building envelopes;
- The study of existing methods for predicting the durability of building envelopes;
- The development of the finite-element model of the roofing sandwich panel, which allows us to study the mechanism of loss of performance, of the materials being studied, to determine the main factors affecting their operational life;
- Modeling the operation of roofing sandwich panels under load using the PC «Lira»;
- The study of the patterns of destruction and deformation of roofing sandwich panels with a filler of expanded polystyrene when varying specified constant stresses and temperatures.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to improve the methods of forecasting the durability of enclosing structures, allowing to determine the service life of building materials and products.

Keywords: sandwich panels, foamed polystyrene, sheet assemble designs, prefabricated panels, block-farms, durability, prognostication, temperature and time analogy.

References

1. Rogowski B. F. Fire Performance of combustible insulation in masonry cavity walls // Fire Safety. 1986. Vol. 8. P. 119–134.
2. Guyumdzhyan P. P., Kokanin S. V., Tsibakin S. V. Research of process of ageing foam polystyrene in the conditions of ultraviolet and infrared irradiations // Scientific and technical. 2010. № 4. P. 92–96.
3. Khale D., Chaudhary R. Mexanism of geopolymerization and factors influencing its development // J. Mater. Sci. 2007. Vol. 42. P. 729–746.
4. Helbling C., Karbhari V. M. Durability Assesment of Combined Environmental Eposure and Bending: Proc. of 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. For Reinf. Concrete Structures / New Orlean, Loisiana, USA. 2005. Nov., 7010. P. 1397–1418.
5. Suleymanov A. M. Actual tasks in predicting the durability of polymer building materials // Stroitel'nyye materialy. 2015. № 5. P. 10–13.
6. Kupriyanov V. N. Climatology and physics of the architectural environment. M. : ASV, 2016. 194 p.
7. Urzhumtsev Yu. S., Maksimov R. D. Forecasting the deformability of polymeric materials. Riga: Znaniye, 1975.416 p.
8. Soldatov A. A., Bednik V. S., Hakobyan G. V., Tekeev I. Kh. Building envelope – sandwich panels // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2016. № 1. P. 165–167.
9. Mamontov S. A., Kiseleva O. A. Effect of aging on the durability of expanded polystyrene // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. 2012. № 2 (40). P. 39–44.
10. Kholopov I. S., Petrov S. M. Optimal design of three-layer panels taking into account shear deformations of the middle layer // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2013. № 2. P. 36–40.
11. Yartsev V. P., Andrianov K. A., Ivanov D. V. Physical and mechanical and technological fundamentals of the use of expanded polystyrene with additional insulation of buildings and structures. Tambov: TSTU, 2010. 120 p.

УДК 691.54
Красиникова Наталья Михайловна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: knm0104@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Иксанова Зарина Факиловна
инженер лаборатории
ООО «КДСК»
Адрес организации: 420073, Россия, г. Казань, ул. Аделя Кутуя, д. 118

Влияние полисиликата на структурообразование цементного камня

Аннотация

Постановка задачи. Цель работы – изучение структурообразования цементного камня, модифицированного полисиликатом «Силинома ВН-М».

Результаты. В данной работе исследуется влияние новой марки полисилинома – «Силином ВН-М» производства ООО «ХИМУНИВЕРС» (г. Казань) на свойства цементного теста и камня. Полученная концентрационная зависимость прочности цементного камня от количества ультрадисперсной добавки «Силинома ВН-М» имеет два пика, которые лежат в очень узком интервале концентраций. Первый пик (экстремум) лежит в области тысячных значений ($1{,}97 \cdot 10^{-3}$ % от массы цемента), а последующий пик, соответствующий сотым значениям и значительно ниже первого.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что установлено положительное влияние введения полисиликата в цементные системы, зависящее от его содержания, причем максимальный эффект проявляется при дозировке менее 0,001 % от массы цемента. Материалы исследования могут быть полезными при модифицировании цементных систем.

Ключевые слова: нанодобавки, полисиликат, цементный камень, прочность, структурообразование.

Введение

Кремнеземистые материалы давно привлекают внимание технологов по бетону. В настоящее время на рынке появляется множество кремнеземсодержащих продуктов для смежных областей, эффект применения которых не оценен. Модифицирование строительных материалов различными добавками с целью повышения их физико-механических характеристик осуществляется как на макро-, так и на микроуровне [1-3]. Для получения строительных материалов, имеющих наноразмерные параметры структуры, необходимо использовать первичные наноматериалы с характерными размерами частиц менее 100 нм [4-6]. Основной задачей наномодифицирования бетона является управление процессом формирования структуры от наноуровня к макроструктуре бетонной смеси, т.е. снизу вверх, а также кинетикой всего спектра химических реакций, сопровождающих процесс твердения. Так, используя ультрадисперсный модификатор, причем в малых концентрациях, можно управлять кинетикой взаимодействия цемента с водой затворения и добиваться максимальных положительных эффектов на следующих стадиях [7, 8]:

- растворения цементных зерен, получая заданную реологию;
- коллоидации, обеспечивая сохранение подвижности во времени;
- кристаллизации, усиливая гетерофазные границы контактных зон и, таким образом, повышая прочность, водонепроницаемость и морозостойкость бетона.

Следует отметить, что уменьшение размеров частиц, применяемых первичных наноматериалов, способствует существенному снижению их требуемой концентрации [9], достижение максимальной плотности упаковки – залог получения высокопрочных бетонов и других строительных материалов различного технического назначения [10]. Поэтому многие исследователи считают, что наиболее эффективно вводить нанодобавки

в ультрамалых количествах [11-14]. Авторы [15] выявили общую закономерность влияния нанодобавок вне зависимости от их химической природы на строительные материалы различного химического строения и состава, резко выраженную экстремальную концентрационную зависимость технических свойств с максимумом при минимальных концентрациях порядка 10^{-2}-10^{-3} % от массы вяжущего.

В работе [16] показано, что оптимальная концентрация нанодобавки составляет $5 \cdot 10^{-4}$ % от массы цемента, однако при этом необходимо проводить ультразвуковую обработку дисперсии во избежание агрегирования. При данной концентрации наблюдается увеличение прочности цементного камня в 2,4 раза в возрасте 12 часов и в 1,3 раза в возрасте 28 суток, и происходит ускорение гидратации по сравнению с контрольным составом.

Исследования [17] показывают, что диапазон оптимальных концентраций наночастиц составляет 10^{-4}-10^{-6} % от массы вяжущего. По его мнению, именно такое количество наночастиц влияет на увеличение прочности цементного камня до 15-20 % относительно контрольного состава. При этом отмечается снижение водопоглощения при капиллярном подсосе, как результат увеличения количества замкнутых пор. Введение ультрадисперсных добавок повышает подвижность цементного теста и способствует сохранению во времени его реологических характеристик при некотором удлинении сроков схватывания.

По мнению Е.В. Королева, для достижения наилучшего результата достаточно введения наномодификатора в количестве до 10^{-7}% от массы вяжущего [4], а Д.Н. Коротких считает, что предпочтение должно отдаваться нанодобавкам, синтезируемым по малозатратным технологиям [15].

Среди более чем десятка распространенных методов синтеза наноразмерных частиц наиболее дешевой является химическая золь-гель технология, которая позволяет быстро и с относительно малыми затратами получать их в заданных количествах [10, 18]. Механизм действия золя объясняется либо высокой удельной поверхностью частиц, либо их способностью превращать воду в более активный компонент вяжущей системы. Большинство ученых считает, что добавка золя участвует в создании дополнительного структурного элемента с высокой удельной поверхностью, повышающего гидратационную активность цемента. Это приводит к сокращению количества пор и микрокапилляров в структуре бетона [19].

Заполнить существовавший пробел в ряде щелочных силикатных связующих позволило применение полисиликатов, которые, представлены тремя группами по степени уменьшения щелочности: растворимые (жидкие) стекла (n= 2-4); полисиликаты (n= 4- 25); золи кремнезема (n > 25) [16, 20].

Проведенный обзор литературы выявил отсутствие данных о действии полисиликатов натрия в цементных системах, поэтому в качестве объекта настоящего исследования выбран промышленно-выпускаемый полисиликат Силином ВН-М (ООО «ХИМУНИВЕРС»).

Цель работы – изучение структурообразования цементного камня, модифицированного полисиликатом данной марки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать влияние полисиликата на прочность цементного камня в разные сроки твердения;
- оценить влияние полисиликата на контракционную усадку цемента при твердении;
- изучить минералогический состав модифицированного цементного камня после 1 и 28 суток нормального твердения;
- оценить технико-экономическую эффективность применения добавки Силином ВН-М.

Методы

В качестве вяжущего для приготовления смесей использовался портландцемент Евроцемент ЦЕМ I 42,5Б.

В качестве затворителя использовалась вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и растворов».

Полисиликатная нанодобавка «Силином ВН-М» (ТУ 2145-014-13002578-94) содержит 20,3 % SiO_2, с размерами частиц от 5 до 50 нм, силикатный модуль – 4,2÷6,2 pH. Количество SiO_2 в приготовленных растворах затворения варьировалось от 0,0002 % до 0,01 % от массы цемента. Для этого «Силином ВН-М» трижды разбавлялся вначале пятикратным количеством воды при 1000 об/мин в течение 1,5 часов до концентрации 0,0406 %, а затем полуторакратным – при 1000 об/мин в течение 1 часа.

Совмещение ультрадисперсной добавки с суперпластификаторами поликарбоксилатного типа SikaVC 5-600 (ТУ 2493-005-13613997-2008) и нафталинформальдегидного типа СП-1(ТУ 5870-005-58042865-05) также проходило в диспергирующей установке. Перемешивание раствора SikaVC 5-600 с добавкой проходило при 900 об/мин в течение 5 минут, а раствора СП-1 – в течение 15 минут.

Перемешивание цемента с этими суспензиями также осуществлялось в течение 5 мин с начала затворения. При определении контракции цемента с добавками использовали автоматический контракциометрический прибор «Цемент-Прогноз», разработанный предприятием «Интерприбор».

Для наиболее точного анализа состава полученного цементного камня применялись методы дифференциальной сканирующей калориметрии и ренгенофазового анализа (РФА).

Результаты и их обсуждение

Для исследования влияния «Силинома ВН-М» на свойства цементного камня первоначально была определена оптимальная концентрация нанодобавки в цементных системах (рис. 1).

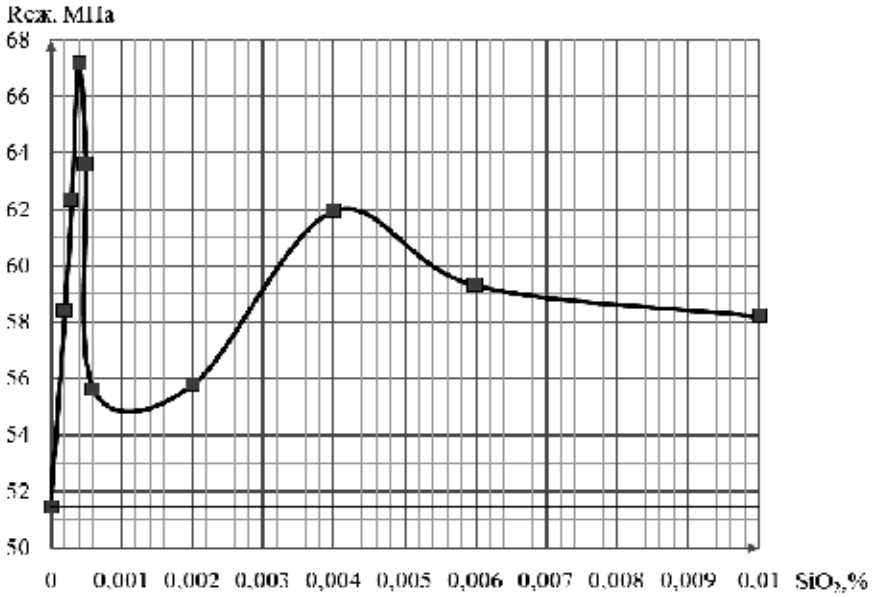


Рис. 1. График зависимости прочности цементного камня от концентрации SiO_2 на седьмые сутки нормального твердения (иллюстрация авторов)

На рис. 1 видны два острых пика, соответствующих концентрациям 0,0004 % и 0,004 % SiO_2 от массы цемента. Наблюдается выраженная экстремальная концентрационная зависимость прочности с пиком при минимальных концентрациях наночастиц. Первый пик (экстремум) лежит в области десятитысячных значений ($4 \cdot 10^{-4}$ % SiO_2 от массы цемента), последующие пики, соответствующие тысячным, сотым и десятым значениям концентрации, значительно ниже предшествующих. Полученные результаты согласуются с данными из проведенного литературного обзора.

В ходе опытов выявлено, что добавка «Силинома ВН-М» не оказывает большого влияния на сроки схватывания цементного теста.

Так как бетонные смеси в настоящее время, как правило, приготовляются с химическими добавками пластифицирующего действия, были проведены исследования влияния на свойства цементного камня растворов с содержанием оптимального

количества SiO_2 (0,0004 %) и пластификаторов поликарбоксилатного (SikaVC 5-600) и нафталинформальдегидного типов (СП-1). Для пластификаторов были выбраны нижние границы дозировок: суперпластификатор SikaVC 5-600 вводился в количестве 0,3 % от массы цемента, а СП-1 – в количестве 0,6 % (табл. 1).

Таблица 1

Свойства цементного камня, модифицированного водными растворами «Силинома ВН-М» без пластификаторов и с SikaVC 5-600 и СП-1

№	Количество добавок в цементе, % от массы цемента			В/Ц	Прочность цементного камня, МПа		
	SiO_2	Sika VC5-600	Полипласт СП-1		1 сутки	7 суток	28 суток
1	0	0	0	0,3	35,81	51,45	85,9
2	0,0004	0	0	0,3	36,21	67,14	96,7
3	0,0004	0,3	0	0,29	34,8	61,07	96,5
4	0,0004	0	0,6	0,28	43,0	67,15	100,4

Как видно из табл. 1, раствор с содержанием 0,0004 % SiO_2 и 0,6 % СП-1 обладает не только меньшей водопотребностью (В/Ц =0,28), но и приростом прочности на 20 % относительно контрольного состава на первые сутки. На седьмые сутки твердения прочность не отличается от прочности состава без пластификатора при общем приросте прочности 30,5 %. Вероятно, что при более высокой концентрации SikaVC 5-600 прочность сравнялась бы с прочностью состава с СП-1, но это привело бы к удорожанию бетона.

Следует отметить, что наблюдается повышение прочности при сжатии цементного камня на 28-е сутки твердения при введении выдержанных растворов, так 30-суточный раствор «Силинома ВН-М» с СП-1 дает прирост 13 % по сравнению с контрольным составом.

Для определения влияния «Силинома ВН-М» на усадку цементного камня в процессе твердения было проведено сравнение контракции контрольного состава на портландцементе, состава добавкой Силинома ВН-М (0,0004 % SiO_2), состава с пластификатором СП-1 в количестве 0,6 % от массы портландцемента и состава с раствором Силинома ВН-М и пластификатора СП-1 (рис. 2).

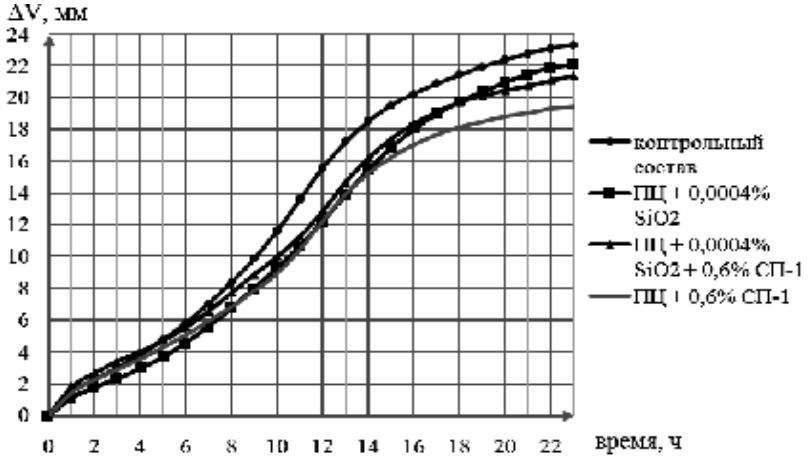
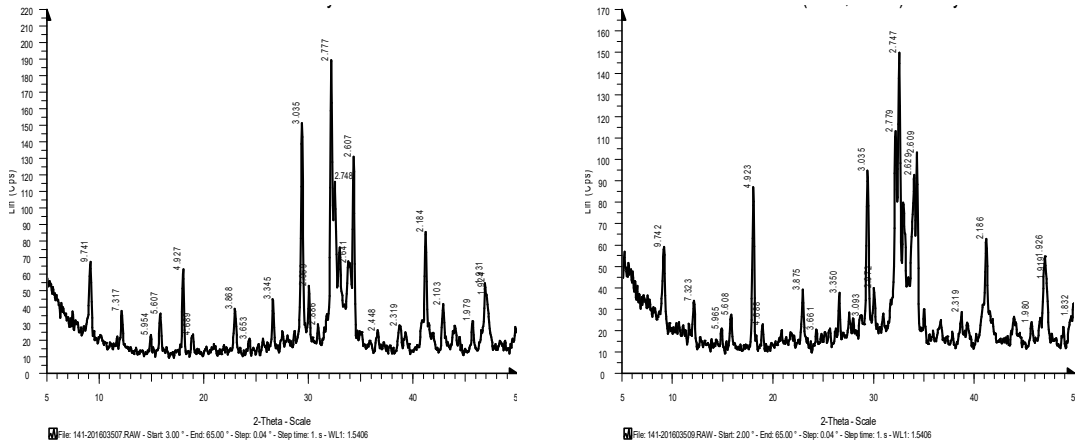


Рис. 2. Уменьшение объема цементного теста исследуемых составов в течение одних суток твердения (иллюстрация авторов)

Как видно из рис. 2, контракция модифицированных составов меньше, чем контрольного. Это свидетельствует о росте кристаллогидратов, что, в свою очередь, объясняет повышенную прочность составов с добавками. Наименьшей контракционной усадкой, в первые 8 часов твердения, обладает состав, содержащий 0,0004 % SiO_2, спустя 19 часов он уступает составу с 0,0004 % SiO_2 и 0,6 % пластификатора СП-1. Наименьшая контракция после 14 часов твердения у состава, содержащего 0,6 % СП-1.

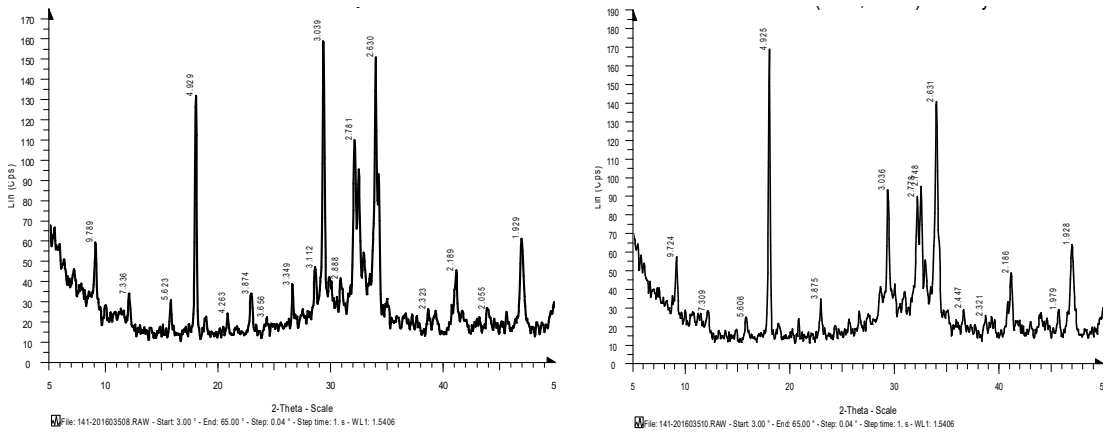
Для определения минералогического состава модифицированного цементного камня был использован метод РФА. При анализе рентгенограмм установлено, что

интенсивность отражений $Ca(OH)_2$ в образце с ультрадисперсной добавкой в возрасте 28 суток (рис. 3б) возрастает (d=4,93Å;d=2,63Å; d=1,93Å) по сравнению с образцом, содержащим только суперпластификатор (рис. 3а). Это свидетельствует об увеличении скорости гидратации цементного камня в присутствии комплексной добавки СП-1 и Силином ВН-М. Подтверждением вышеуказанному явлению является некоторое снижение интенсивности отражений безводных силикатов кальция (d=2,776Å, d=2,602Å, d=2,185Å, d=1,979Å) в образце с полисиликатами натрия в возрасте 28 суток (рис. 4б). Таким образом, в присутствии комплексной нанодобавки большее количество силикатных фаз цемента вступило в реакцию гидратации.



а) б)

Рис. 3. Рентгенограммы цементного камня на первые сутки твердения:
а) содержащего 0,6 % СП-1; б) содержащего 0,6 % СП-1 и 0,00197 % «Силинома ВН-М»
(иллюстрация авторов)



а) б)

Рис. 4. Рентгенограммы цементного камня на 28-е сутки твердения: а) содержащего 0,6 % СП-1;
б) содержащего 0,6 % СП-1 и 0,00197 % «Силинома ВН-М» (иллюстрация авторов)

Полученные результаты совпадают с данными количественного РФА гидратных фаз составов на 28-е сутки нормального твердения: содержание C_3S в составе с СП-1 составляет 32,5 %, в составе с СП-1 и Силиномом ВН-М – 29,7 %. Состав с СП-1 содержит 13,7 % портландита, а состав с полисиликатами натрия – 17,4 %.

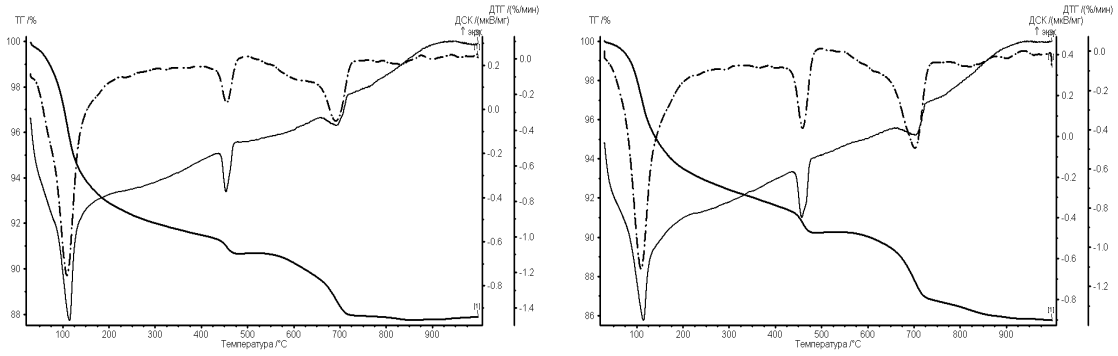
Характерным является ослабление карбонизационных процессов в образце с комплексной добавкой СП-1 и «Силином ВН-М», т.к. интенсивность отражений кальцита (d=3,029Å) значительно меньше в образцах, содержащих полисиликаты (рис. 3б, 4б) по сравнению с образцами без нанодобавки (рис. 3а, 4а). Это указывает на образование более плотной структуры в наномодифицированных образцах, препятствующей

прониканию CO_2 в цементный камень. Данные совпадают с количественным РФА: на первые сутки состав с СП-1 содержит 6,8 % кальцита, на 28-е сутки – 6,6 %. Состав с «Силиномом ВН-М» на первые сутки содержит 1,0 % кальцита, а на 28-е сутки – 2,7 %.

Вместе с тем следует отметить, что характерного изменения состава гидратных фаз в составах с нанодобавкой не происходит. Интенсивность отражений, характерных для эттрингита (d=5,61 Å; d=3,88 Å; d=2,209Å), незначительно возрастает в ранние сроки (1 сутки) по сравнению с образцами в возрасте 28 суток, однако эти интенсивности практически равны для разных составов, то есть комплексная добавка с полисиликатами натрия практически не оказывает влияния на состояние и кристаллизацию эттрингита. Полученные данные совпадают с результатами количественного РФА: на 28-е сутки состав с суперпластификатором содержит 7,3 % эттрингита, как и состав с ультрадисперсной добавкой.

Интенсивность отражения наиболее стабильной гидроаллюминатной фазы C_3AH_6 (d=2,49Å, d=2,30Å) незначительно возрастает в образцах, содержащих комплексную нанодобавку. Это также совпадает с результатами количественного РФА: на первые сутки состав с СП-1 содержит 8,4 % C_3AH_6, на 28-е сутки – 5,4 %. Состав с «Силиномом ВН-М» на первые сутки содержит 11,7 % кальцита, а на 28-е сутки – 6,4 %.

Комплексный дифференциальный термический анализ (ДТГ) проводился при нагревании исследуемых образцов в интервале температур 30-1000 °С. В качестве образцов были выбраны составы на первые и 28-е сутки нормального твердения с суперпластификатором СП-1 (рис. 5а, 6а) и с содержанием СП-1 и нанодобавки «Силином ВН-М» (рис. 5б, 6б).

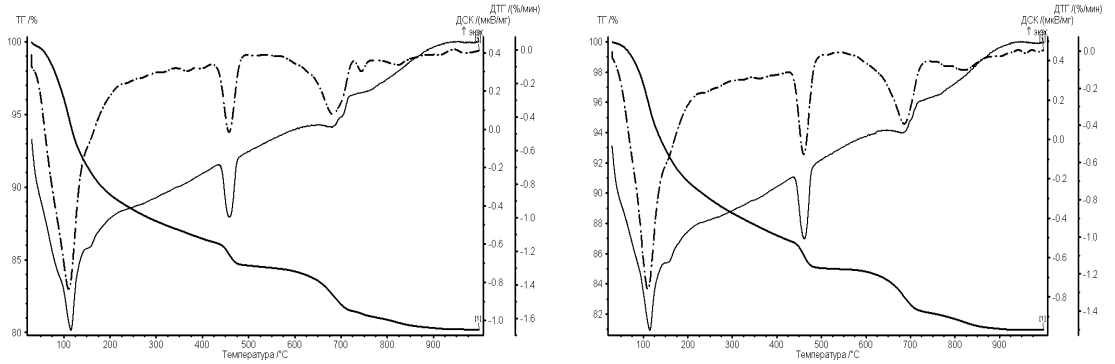


а) б)

Рис. 5. Дериватограмма цементного камня на первые сутки твердения: а) содержащего 0,6 % СП-1; б) содержащего 0,6 % СП-1 и 0,00197 % «Силинома ВН-М» (иллюстрация авторов)

На дериватограммах цементного камня зафиксированы три эндотермических пика, сопровождающихся уменьшением массы. Глубокий эндотермический эффект в интервале температур 100-200 °С связан с удалением адсорбированной воды из гелеобразных продуктов гидратации, в частности, гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Именно при этой температуре происходит наибольшая потеря массы образцов. У составов на 28-е сутки твердения наблюдается ступенчатая дегидратация в данной области температур из-за образования гидросиликатов кальция разной основности.

Эндотермический эффект в интервале температур 430-480 °С можно отнести к реакциям разложения остаточного количества портландита до CaO, а затем до $CaO{\cdot}SiO_2$. Также эндоэффект, возникший в этом температурном интервале, может быть обусловлен дегидратацией низкоосновных и двухосновных гидросиликатов кальция. Причем эндоэффект у образца с содержанием нанодобавки «Силином ВН-М» выше, что говорит об увеличении количества гидросиликатов кальция в данном составе в особенности на 28-е сутки нормального твердения (рис. 6б).



а) б)

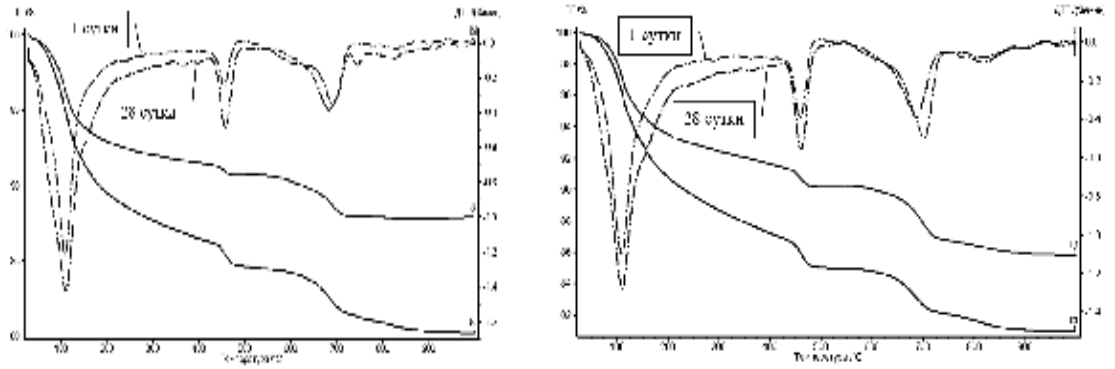
Рис. 6. Дериватограмма цементного камня на 28-е сутки твердения: а) содержащего 0,6 % СП-1; б) содержащего 0,6 % СП-1 и 0,00197 % «Силинома ВН-М» (иллюстрация авторов)

Эндотермический эффект при температуре 500-800 °С свидетельствует о разложении кальцита, а также гидросиликатов кальция. На дериватограммах образцов возрастом 28 суток наблюдается ступенчатая дегидратация, что связано с образованием гидросиликатов кальция разной основности.

Не значительный экзотермический эффект в области температур 800-960 °С, который свидетельствует о перекристаллизации гидросиликатов кальция в волластонит. В этой температурной области кривая ДТГ приобретает ступенчатый характер, причем состав с ультрадисперсной добавкой (рис. 6б) имеет несколько ступеней, что, опять же, говорит о наличии гидросиликатов кальция разной основности.

Состав в возрасте одних суток, содержащий «Силином ВН-М» (рис. 5б), при проведении дифференциальной сканирующей калориметрии теряет 14,25 % массы, состав же без содержания ультрадисперсной добавки (рис. 5а) теряет 12,12 % массы. Это связано с тем, что в составе с полисиликатами натрия в 1 сутки связывается большее количество воды, чем в немодифицированном составе. Потеря массы образцов в возрасте 28 суток составляет 19,85 % для состава без полисиликатов (рис. 5а) и 19,06 % для состава с полисиликатами натрия (рис. 6а).

На рис. 7 а-б представлены сопоставительные кривые дериватограмм цементного камня, содержащего СП-1 и СП-1 с полисиликатами натрия «Силином ВН-М» соответственно.



а) б)

Рис. 7. Сопоставительные кривые дериватограмм цементного камня: а) содержащего 0,6 % СП-1; б) содержащего 0,6 % СП-1 и 0,00197 % «Силинома ВН-М» (иллюстрация авторов)

Из-за большего количества новообразований на 28-е сутки твердения линия термогравиметрии, соответствующая этому возрасту, лежит ниже линии, соответствующей одним суткам твердения. Наблюдается различие пиков в области температур 650-700 °С, причем у составов с ультрадисперсной добавкой (рис. 7б) это различие более выражено,

что свидетельствует об образовании гидросиликатов кальция низкой основности, и объясняет повышенную прочность модифицированного цементного камня.

Полученные данные согласуются с работами [21], где в качестве нанодисперсного компонента использовали кремнезоль стабилизированный ацетат-ионами золь кремниевой кислоты, который вводился в количестве 10 % (концентрация активного SiO_2 составляла 0,23 %, содержание частиц размером 90-120 нм – 92 %). В работе показано, что кремнезоль стабилизированный ацетат-ионами золя кремниевой кислоты, химически взаимодействует с продуктами гидратации цемента с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция. Авторы получили хорошие результаты наномодифицирования – увеличение плотности бетона на 20 %, снижение истираемости на 80 %, усадки – в 2-2,1 раза, повышение марки по морозостойкости в три раза. Поэтому, можно сделать вывод об одном механизме действия щелочных силикатных модификаторов и полисиликатов (n=4÷25) и золя кремнезема (n>25). При этом необходимо отметить повышенный расход кремнезоля при модифицировании.

При использовании различных минеральных добавок, активно участвующих в процессе гидратации, также как и при применении «Силинома ВН-М», дополнительное количество гидросиликатов кальция появляется за счет взаимодействия гидроксида кальция с кремнеземом добавки, что приводит к формированию на 28-е сутки твердения структур с пониженным количеством $Ca(OH)_2$ [22].

Таким образом, подобное влияние полисиликата на структуру и свойства цементного камня обусловлено его химической природой и высокой дисперсностью. Добавки, обладающие реакционной способностью по отношению к оксиду кальция, уже нашли широкое применение при модификации цементных систем [22] и результаты, полученные в данном исследовании, подтверждают их техническую эффективность. Однако, в отличие от активных минеральных добавок [22], дозировка полисиликата меньше в тысячу раз при таком же росте прочности цементного камня.

В сравнении с другими нанодобавками [4, 19] преимущество полисиликата состоит в том, что он химически взаимодействует с продуктами гидратации цемента и образует низко-основные гидросиликаты кальция, то есть напрямую влияет на процесс структурообразования цементного камня.

В литературном обзоре отмечено, что ресурсозатратность получения первичных наноматериалов обуславливает их высокие себестоимость и цену на рынке.

Поэтому столь важен предложенный проф. Е.В.Королевым расчет коэффициента технико-экономической эффективности применения нанотехнологий, который характеризует, в сущности, стоимость эффекта:

$K_{ef} = \delta F/\delta C$, где δF – относительное изменение интегрального показателя качества материала, δC – относительное изменение его стоимости [4].

Имея данные о приросте прочности цементного камня с добавкой Силинома ВН-М», многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) [8] и обычного суперпластификатора [23], были рассчитаны значения коэффициента эффективности (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение эффективности наномодификаторов и суперпластификатора

Тип добавки	Дозировка от массы цемента, %	Стоимость добавки, руб./г	Прирост прочности, %	$K_{ef}=\Delta R/\Delta C$
Нанодобавка Силином ВН-М	0,0004	0,2	13	12,5
Нанодобавка МУНТ	0,001	120	30	2
Суперпластификатор СП-1	0,6	0,06	20	5

Как видно из табл. 3 МУНТ имеют на несколько порядков большую стоимость по сравнению с другими добавками при достаточно низком приросте прочности цементного камня, поэтому их коэффициент эффективности и наименьший. Для нанодобавки «Силином ВН-М» характерен в 2,5 раза больший коэффициент эффективности даже по сравнению с широко применяемыми суперпластифкаторами, так как она имеет небольшую стоимость и малую дозировку от массы цемента. Таким образом, можно констатировать не только техническую, но и экономическую эффективность полисиликата «Силином ВН-М».

Заключение[1]

В работе получена концентрационная зависимость прочности цементного камня от количества ультрадисперсной добавки «Силинома ВН-М», причем концентрационная кривая имеет несколько пиков, которые лежат в очень узком интервале концентраций. Первый пик (экстремум) лежит в области тысячных значений ($1{,}97 \cdot 10^{-3}$ % от массы цемента), последующие пики, соответствующие сотым и десятым значениям, значительно ниже первого. Установлено, что наибольший прирост прочности цементного камня при использовании добавки Силином ВН-М наблюдается после 7 и 28 суток нормального твердения.

Исследование контракционной усадки показало, что введение полисиликата снижает контракцию в первые сутки твердения цемента.

При анализе рентгенограмм установлено, что скорость гидратации цементного камня в присутствии «Силинома ВН-М» увеличивается, т.е. при введении нанодобавки большее количество силикатных фаз цемента вступает в реакцию гидратации. Полученные результаты совпадают с результатами количественного РФА гидратных фаз составов на 28-е сутки нормального твердения. Наблюдается также снижение карбонизационных процессов в образце с «Силиномом ВН-М», что свидетельствует об образовании более плотной структуры в наномодифицированных образцах, препятствующей прониканию CO_2 в цементный камень. Данные дериватограмм цементного камня показали увеличение количества гидросиликатов кальция, особенно на 28-е сутки нормального твердения. Также установлено увеличение количества гидросиликатов кальция низкой основности, что объясняет повышенную прочность модифицированного цементного камня.

Результаты РФА и ДТА согласуются с данными контракции.

Коэффициент технико-экономической эффективности добавок повышается в ряду: МУНТ, СП-1 и Силином ВН-М, что обуславливает целесообразность широкого применения исследуемого нанопродукта при производстве цементных бетонов.

Список библиографических ссылок

1. Zhang J. X., Kong X. J., Wang C. Study on Freezing-and-Thawing Durability of Cement Concrete Based on Experimental Investigation of Air-Void Parameters // Advanced Materials Research, Vol. 857. P. 212–221.
2. Chen J. J., Kwan A. K. H. Superfine cement for improving packing density, rheology and strengthof cement paste // Cement & Concrete Composites. 2012. 34. P. 1–10.
3. Bonavetti V. L., Castellano C., Donza H., Rahhal V. F., Irassar E. F. Cement with silica fume and granulated blast-furnace slag: strength behavior and hydration // Materiales de Construcción. Vol. 64. 2014. (315). e025.
4. Королев Е. В. Оценка концентрации первичных наноматериалов для модифицирования строительных композитов // Нанотехнологии в строительстве. 2014. № 6. С. 31–34.
5. Киски С. С., Агеев И. В., Пономарев А. Н., Козеев А. А., Юдович М. Е. Исследование возможности модификации карбоксилатных пластификаторов в составе модифицированных мелкозернистых бетонных смесей // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 42–46.
6. Ponomarev A. N., Aladjishkin A. N., Katselainen I. V., Panov S. A. Influence of hypercarbon fillers on epoxy amine polymer properties // CAILSP of Carbon Nanotubes Washington DC. USA. 1999. P. 9.
7. Хозин В. Г., Абдрахманова Л. А., Низамов Р. К. Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 2. С. 25–33.

[1]Авторы статьи выражают благодарность Обуховой Вере Борисовне, ООО «ХИМУНИВЕРС», за предоставленный продукт и его характеристики.

8. Рахимов Р. З., Габидуллин М.Г., Стоянов О. В, Хузин А. Ф., Габидуллина А. Н. Влияние многослойных углеродных нанотрубок в составе комплексной добавки на макро- и мезоструктуру цементного камня // Вестник казанского технологического университета. 2014. № 2. Том 17. С. 65–68.
9. Кудрявцев П. Г., Фиговский О. Л. Наноматериалы на основе растворимых силикатов // Nanobuild. 2014. Том 6. № 6. Р. 27–45.
10. Чернышов Е. М., Артамонова О. В., Коротких Д. Н.Синтез наноразмерных частиц для модифицирования структуры цементного камня и др. // Научные исследования, наносистемы, ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии : сб. докл. Международной науч.-практич. конф. Белгород, 2007. С. 302–305.
11. Sobolkina A., Mechtcherine V., Khavrus V., Maier D., Mende M., Ritschel M., Leonhardt A. Dispersion of carbon nanotubes and its influence on mechanical properties of the cement matrix // Cement and concrete composites. 2012. Vol. 34. P. 1104.
12. Chaipanich A. Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes-fly ash cement composites // Materials Science and Engineering: A. 2010. № 527. P. 1063–1067.
13. Collins F., Lambert J., Duan W. H. The influences of admixtures on the dispersion, workability, and strength of carbon nanotube-OPC paste mixtures // Cement and Concrete Composites. 2012. Vol. 34. № 2. P. 201–207.
14. Rao S., Silva P., De Brito J. Experimental study of the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with nano materials (SiO_2 and TiO_2) // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 96. P. 508–517.
15. Коротких Д. Н., Артамонова О. В., Чернышов Е. М. О требованиях к наномодифицирующим добавкам для высокопрочных цементных бетонов // Технологии бетонов. 2009. № 9-10. С. 86–88.
16. Айлер Р. Химия кремнезема, Т. 1-2. М. : Мир, 1982. 416 с.
17. Пухаренко Ю. В., Никитин В. А., Летенко Д. Г. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей // Строительные материалы. Наука. 2006. № 8. С. 11–13.
18. Svatovskaya L., Shershneva M., Baydarashvily M., Sychova A., Sychov M., Gravit M. Geoecoprotective properties of cement and concrete against heavy metal ions // Procedia Engineering. 2015. Т. 117. С. 350–354.
19. Войтович В. А., Хряпченкова И. Н., Яворский А. А. Нанотехнологии в производстве силикатного кирпича // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 60–61.
20. Лукутцова Н. П., Матвеева Е. Г. Роль микро- и нанодисперсных добавок в структурообразовании мелкозернистого бетона // Технологии бетонов. 2013. № 10. С. 40–41.
21. Горбунов С. П., Олюнин П. С. Особенности формирования и стабилизации структуры цементного камня // Технология бетонов. 2008. № 9. С. 58–59.
22. Кудрявцев П. Г., Фиговский О. Л. Наноструктурированные материалы, получение и применение в строительстве // Нанотехнология в строительстве. 2014. Том 6. № 6. С. 28–45.
23. Красиникова Н. М., Кашапов Р. Р., Морозов Н. М, Хозин В. Г. Структурообразование цементного камня с полифункциональной добавкой // Строительные материалы. 2016. № 5. С. 66–69.

Krasinikova Natalya Mikhailovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: knm0104@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Iksanova Zarina Fakilovna
laboratory engineer
LLC «Kazan DSK»
The organization address: 420073, Russia, Kazan, Adel Kutyj st., 118

The effect of polysilicate on the formation of cement stone

Abstract

Problem statement. Siliceous materials have long attracted the attention of technologists – in concrete. Currently, many organosilicon products appear on the market for related fields, the effect of which is not appreciated.

Results. In this work, we study the effect of a new polysilin brand – Silin VN-M manufactured by HIMUNIVERS LLC (Kazan) on the properties of cement paste and stone. The obtained contractual dependence of the strength of cement stone on the amount of the ultrafine additive Silinoma VN-M has several peaks that lie in a very narrow concentration range. The first peak (extremum) lies in the region of thousandth values ($1{,}97 \cdot 10^{-3}$ % of the mass of cement), and the subsequent peaks corresponding to the hundredth and tenth values are significantly lower than the first.

Conclusions. A positive effect of introducing silinom into cement systems, depending on its content, was established in the work, and the maximum effect is manifested at a dosage of less than 0,001 % by weight of cement.

Research materials may be useful in modifying cement systems.

Keywords: nano-additives, polysilicate, cement stone, strength, structure formation.

References

1. Zhang J. X., Kong X. J., Wang C. Study on Freezing-and-Thawing Durability of Cement Concrete Based on Experimental Investigation of Air-Void Parameters // Advanced Materials Research, Vol. 857. P. 212–221.
2. Chen J. J., Kwan A. K. H. Superfine cement for improving packing density, rheology and strengthof cement paste // Cement & Concrete Composites. 2012. 34. P. 1–10.
3. Bonavetti V. L., Castellano C., Donza H., Rahhal V. F., Irassar E. F. Cement with silica fume and granulated blast-furnace slag: strength behavior and hydration // Materiales de Construcción. Vol. 64. 2014. (315). e025.
4. Korolev E. V. Assessment of the concentration of primary nanomaterials for the modification of building composites // Nanotechnologii v stroitelstve. 2014. № 6. P. 31–34.
5. Kiski S. S., Ageev I. V., Ponomarev A. N., Kozeev A. A., Yudovich M. E. Investigation of the possibility of modifying carboxylate plasticizers in modified fine-grained concrete mixes // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2012. № 8. P. 42–46.
6. Ponomarev A. N., Aladjishkin A. N., Katselainen I. V., Panov S. A. Influence of hypercarbon fillers on epoxy amine polymer properties // CAILSP of Carbon Nanotubes Washington DC. USA. 1999. P. 9.
7. Khozin V. G., Abdrakhmanova L. A., Nizamov R. K. General concentration regularity of the effects of nanomodification of building materials // Stroitel'nyye materialy. 2015. № 2. P. 25–33.
8. Rakhimov R. Z., Gabidullin MG, Stoyanov O. V, Khuzin A. F., Gabidullina A. N. The effect of multilayer carbon nanotubes as part of a complex additive on the macro- and mesostructure of cement stone // Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. № 2. Volume 17. P. 65–68.
9. Kudryavtsev P. G., Figovsky O. L. Nanomaterials based on soluble silicates // Nanobuild. 2014. Volume 6. № 6. R. 27–45.
10. Chernyshov E. M., Artamonova O. V., Korotkikh D. N. Synthesis of nanosized particles to modify the structure of cement stone, etc. // Scientific research, nanosystems, resource-saving technologies in the construction industry: proceedings of the International scientific and practical conference, Belgorod, 2007. P. 302-305.
11. Sobolkina A., Mechtcherine V., Khavrus V., Maier D., Mende M., Ritschel M., Leonhardt A. Dispersion of carbon nanotubes and its influence on mechanical properties of the cement matrix // Cement and concrete composites. 2012. Vol. 34. P. 1104.

12. Chaipanich A. Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes-fly ash cement composites // Materials Science and Engineering: A. 2010. № 527. P. 1063–1067.
13. Collins F., Lambert J., Duan W. H. The influences of admixtures on the dispersion, workability, and strength of carbon nanotube-OPC paste mixtures // Cement and Concrete Composites. 2012. Vol. 34. № 2. P. 201–207.
14. Rao S., Silva P., De Brito J. Experimental study of the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with nano materials (SiO_2 and TiO_2) // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 96. P. 508–517.
15. Korotkikh D. N., Artamonova O. V., Chernyshov E. M. On the requirements for nanomodifying additives for high-strength cement concrete // Tekhnologii betonov. 2009. № 9-10. P. 86–88.
16. Euler R. Chemistry of silica, V. 1-2. M.: Mir, 1982. 416 p.
17. Pukharenko Yu. V., Nikitin V. A., Letenko D. G. Nanostructuring of mixing water as a way to increase the effectiveness of plasticizers for concrete mixtures // Stroitel'nyye materialy. Nauka. 2006. № 8. P. 11–13.
18. Svatovskaya L., Shershneva M., Baydarashvily M., Sychova A., Sychov M., Gravit M. Geoecoprotective properties of cement and concrete against heavy metal ions // Procedia Engineering. 2015. T. 117. C. 350–354.
19. Voitovich V. A., Khryapchenkova I. N., Yavorsky A. A. Nanotechnology in the production of silicate brick // Stroitel'nyye materialy. 2010. №. 3. P. 60–61.
20. Lukuttsova N. P., Matveeva E. G. The role of micro- and nanodispersed additives in the structure formation of fine-grained concrete // Tekhnologii betonov. 2013. № 10. P. 40–41.
21. Gorbunov S. P., Olyunin P. S. Features of the formation and stabilization of the structure of cement stone // Tekhnologii betonov. 2008. № 9. P. 58–59.
22. Kudryavtsev P. G., Figovsky O. L. Nanostructured materials, production and use in construction // Nanotechnology in construction. 2014. Volume 6. № 6. P. 28–45.
23. Krasinikova N. M., Kashapov R. R., Morozov N. M, Khozin V. G. Structural formation of cement stone with a multifunctional additive // Stroitel'nyye materialy. 2016. № 5. P. 66–69.

УДК 541.49
Мухаметшина Румия Мугаллимовна
кандидат химических наук, доцент
E-mail: rumya211@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Морозов Владимир Иванович
кандидат химических наук
E-mail: vmorozov@iopc.ru
Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова
Адрес организации: 420088, Россия, г. Казань, ул. Арбузова, д. 8

Металлопокрытия на основе комплексных соединений меди(II) с нитрилотриметиленфосфоновой кислотой

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – изучение процессов комплексообразования меди(II) с нитрилотриметиленфосфоновой кислотой и выявление возможности применения нитрилотриметиленфосфоновой кислоты в качестве лигандов ионов меди(II) для получения стабильных растворов химического меднения.

Результаты. Методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) изучено формирование комплексов меди(II) с нитрилотриметиленфосфоновой кислотой. Исследовано распределение комплексных форм на основе обработки данных ЭПР-измерений в виде зависимости $\frac{d\Pi}{dpH}$ – *f*(pH), где *П* – параметр спектра ЭПР. Установлены составы и рассчитаны константы устойчивости комплексов в различных средах.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что изучены новые материалы на основе комплексов меди с нитрилотриметиленфосфоновой кислотой. Установлено, что нитрилотриметиленфосфоновая кислота образует устойчивые комплексные соединения с ионами меди, и является перспективным материалом для получения защитных и декоративных металлополимерных покрытий на поверхности изделий, используемых в строительной отрасли.

Ключевые слова: металлопокрытия, электронный парамагнитый резонанс (ЭПР), устойчивость, меднение, лиганд, нитрилотриметиленфосфоновая кислота.

Введение

Развитие строительной отрасли выдвигает повышенные требования по обеспечению работоспособности используемых материалов и изделий в широком интервале температур, нагрузок и различных агрессивных средах. Эффективным способом повышения срока службы изделий является нанесение функциональных металлополимерных покрытий химическим методом [1-4]. Это направление весьма перспективно не только с точки зрения возможности получения равномерного покрытия на изделиях сложной конфигурации, но и с точки зрения экономии энергетических затрат, простоты оборудования и доступности материалов.

Для совершенствования и разработки перспективных технологических процессов получения металлопокрытий необходимы экспериментальные исследования по определению устойчивости комплексных соединений в растворах осаждения металлов. Стабильность растворов связана с прочностью образующихся комплексных ионов и их пространственным строением. В последние годы все большее внимание исследователей привлекают фосфорорганические комплексоны [5, 6]. Одним из наиболее интересных представителей комплексообразующих соединений с фосфоновыми группировками является нитрилотриметиленфосфоновая кислота (НТФ). НТФ широко применяется в различных областях экономики, в том числе и в дорожно-строительной отрасли [7-9]. Нитрилотриметиленфосфоновая кислота применяется в производстве бетона для крупных и моноблочных железобетонных зданий. Она замедляет процесс схватывания бетона, делает процесс внутреннего разогрева более постепенным. За счет этого

уменьшаются внутренние деформации, создаются условия для образования длинных и хорошо сцепленных между собой волокон гидросиликатов кальция, которые отвечают за прочность бетона. Активное использование НТФ в строительстве объясняется тем, что в сравнении с другими ингибиторами сроков схватывания бетона, его добавляют в меньших количествах и она дешевле аналогов [10, 11].

В литературе имеются сведения о перспективности применения фосфорорганических лигандов в процессах химического осаждения металлов [12, 13]. Сочетание в молекуле лиганда высокоосновного атома азота с фосфоновыми группировками обуславливает образование с большинством ионов металлов как устойчивых моноядерных, так и прочных полиядерных комплексов. Доступность синтеза кислоты открывает широкие возможности ее практического использования [6, 7].

Используемые в настоящее время растворы химического осаждения металлов обладают недостаточной стабильностью и поэтому вопросы повышения их стабильности и возможности многократного использования остаются весьма актуальными. В связи с этим приобретает актуальность изучение процессов комплексообразования в растворах химического меднения на основе нитрилотриметиленфосфоновой кислоты с целью оптимизации технологических процессов нанесения металлопокрытий и определения способов управления этими процессами.

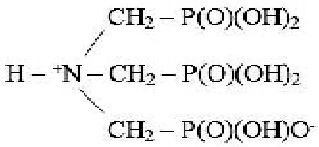
Методы исследования

Для исследованиия процессов комплексообразования меди с нитрилотриметиленфосфоновой кислотой был применен метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [14]. Метод электронного парамагнитного резонанса является одним из наиболее чувствительных к изменениям в строении и составе первой координационной сферы металла-комплексообразователя. Основными параметрами спектров ЭПР является интенсивность и ширина линий, g – фактор и константа сверхтонкого взаимодействия, которые зависят от симметрии ближайшего окружения центрального иона, так и от природы лиганда.

В данной работе на основе анализа и обработки параметров спектров ЭПР жидких и замороженных растворов установлено вероятное строение образующихся комплексных ионов, а также рассчитаны константы равновесий комплексообразования. Спектры ЭПР записывались на спектрометре РЭ-1306, оборудованным калибратором магнитного поля, собранного на основе измерителя магнитной индукции III-I-I. Образцы помещались в калиброванные капилляры из стекла, которое не давало сигнала ЭПР в рабочей области магнитных полей. Спектры ЭПР снимали при 298 и 77 К в трехсантиметровом диапазоне длин волн. В некоторых случаях измерения проводили и при повышенных температурах (до 390 К).

Результаты исследований и их обсуждение

Шестиосновная нитрилотриметиленфосфоновая кислота имеет следующее строение:



Исследование процессов комплексообразования в системе Cu(II) – НТФ – H_2O проведено методом ЭПР. На рис. 1 представлены характерные спектры ЭПР в различных областях pH, снятые при комнатной температуре в растворах с соотношением металл:лиганд равным 1:2. В области pH 0,5-13 ионы меди образуют с НТФ ряд координационных соединений. В процессах комплексообразования НТФ проявляет функцию полидентатного лиганда за счет атома азота и атома кислорода фосфоновых групп, способных координироваться с ионом металла. В сильнокислой среде (pH<0,5) в спектре ЭПР наблюдается одна широкая линия с g-фактором, равным 2,19, что характерно для аквакомплекса меди. С увеличением pH, форма и параметры спектров меняются, что связано с изменениями в составе и симметрии ближайшей координационной сферы центрального иона.

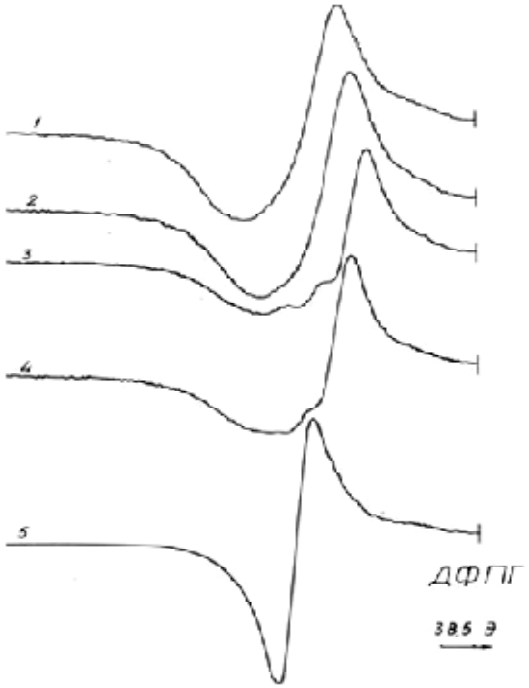


Рис. 1. Спектры ЭПР комплексов меди(II) с НТФ в жидких растворах в зависимости от pH: 1 – 2,09; 2 – 4,02; 3 – 5,47; 4 – 10,3; 5 – 12,48; 6 – 13,25; $C_{Cu(II)}$ = 0,02 моль/л; $C_{НТФ}$ = 0,04 моль/л (иллюстрация авторов)

Увеличение pH-среды выше 0,5 вызывает уменьшение величины g-фактора. Это указывает на усиление плоскостной связи иона меди(II) с лигандом и вхождение молекулы НТФ в экваториальную плоскость меди. В зависимости от pH раствора НТФ, как и другие многоосновные кислоты, находится в различных диссоциированных формах. Согласно литературным данным [1] спектр ЭПР, наблюдаемый до значения pH 3,5, следует отнести к образованию протонированного комплекса $[CuH_3L]^-$ (рис. 1, кр. 1), в котором НТФ выступает как бидвентатный лиганд. Вхождение лиганда в экваториальную плоскость центрального иона приводит к ослаблению связей с аксиальными молекулами воды. В связи с этим при дальнейшем повышении pH координация НТФ происходит в аксиальное положение комплекса и в области pH 3,5-5,0 наблюдается спектр (рис. 1, кр. 2), который можно отнести к следующему протонированному комплексу $[CuH_2L]^{2-}$, где два координационных места во внутренней сфере центрального иона заняты донорными атомами кислорода дважды депротонированных фосфоновых групп НТФ. Интенсивность поглощения данного вида комплекса максимальна при pH 4. При pH 4,5 начинается формирование монопртонированного комплекса $[CuHL]^{3-}$, интенсивность которого растет по мере повышения pH и достигает максимального значения при pH 5,5 (рис. 1, кр. 3). Характер спектра меняется, появляется сверхтонкая структура от ядер $Cu^{63/65}$. При переходе к полностью депротонированному комплексу $[CuL]^{4-}$ (рис. 1, кр. 4) в спектре ЭПР происходят существенные изменения, что может быть обусловлено сильным искажением симметрии ближайшей координационной сферы центрального иона. Комплекс $[CuL]^{4-}$ преобладает в широкой области pH 7,5-11,5. При дальнейшем увеличении pH был обнаружен новый тип спектра (рис. 1, кр. 5), который является основным в области pH 11,5-13. Возникновение этого спектра можно объяснить вхождением гидроксильной группы во внутреннюю сферу центрального иона. Таким образом, наблюдаемый в области pH>11,5, спектр ЭПР следует отнести к образованию новой комплексной частицы – смешанного гидросокомплекса $[Cu(OH)L]^{5-}$, в котором в экваториальной плоскости координация осуществляется через донорные атомы кислорода фосфоновых групп, а осевое положение занимают атом азота и ион гидроксила. Увеличение pH выше 13 приводит к спектру с четко выраженной сверхтонкой структурой, состоящей из четырех компонентов от ядер меди. Это обусловлено тем, что при pH > 13 наблюдается переход гидроксокомплексонатов Cu(II) в

комплексе $[Cu(OH)_4]^{2-}$. Подобный тип спектра с близкими значениями параметров получен в [14] при исследовании медь(II)тартратных комплексов.

Магнитные параметры, полученные из спектров жидких растворов (табл. 1), показывают первоначальное увеличение сверхтонкого взаимодействия с ядром Cu(II) и уменьшение g_{iso} в ряду $[CuH_3L]^-$, $[CuH_2L]^{2-}$, $[CuHL]^{3-}$ с последующим резким падением сверхтонкого взаимодействия (СТВ) с ядром Cu(II) для $[CuL]^{4-}$ и полным исчезновением для $[Cu(OH)L]^{5-}$. Это может быть объяснено первоначальным управлением комплекса с образованием структуры масимально близкой к тетрагональной удлиненной октаэдрической для $[CuHL]^{3-}$ с последующим переходом к структуре тригональной бипирамиды, что сопровождается резким уменьшением СТВ с ядром Cu(II). Образование $[CuL]^{4-}$ вызывает изменение геометрии комплекса и сильное смешивание $d_{x^2-y^2}$ и d_{z^2} состояний. Формирование комплекса $[Cu(OH)L]^{5-}$ с еще более сильным по сравнению с H_2O лигандом OH^- приводит к тригональному сжатию по оси $N \rightarrow Cu \rightarrow OH^-$ и дополнительному уменьшению СТВ с ядром Cu(II). Снятие вырождений электронных уровней по механизму динамического эффекта Яна-Теллера приводит к полному усреднению сверхтонкой структуры от Cu(II) и спектр представляет одиночную бесструктурную линию с шириной ~45Э.

Таблица 1

Изотропные (g_{iso}, A_{iso}) и анизотропные ($g_\parallel$, $g_\perp$), ($A_\parallel$, $A_\perp$) параметры спектров ЭПР в системе Cu(II) – НТФ – H_2O, $C_{Cu(II)}$=0,02 моль/л; $C_{НТФ}$=0,04 моль/л

Комплексный ион	g_{iso}	A_{iso}, [Э]	$g_\parallel$	$g_\perp$	<g>	$A_\parallel$, [Э]	$A_\perp$, [Э]	α^2
$[Cu(H_2O)_6]^{2+}$	2,19	-	2,404	2,08	2,19	133	-	0,84
$[Cu(H_3L)(H_2O)_4]^-$	2,18	45	-	-	-	-	-	-
$[CuH_2L(H_2O)_3]^{2-}$	2,17	-	-	-	-	-	-	-
$[CuHL(H_2O)_3]^{3-}$	2,17	55	-	-	-	-	-	-
$[CuL(H_2O)_2]^{4-}$	2,18	50	g_x=2,329 g_y=2,14 g_z=2,05		2,175	130	-	0,79
$[CuL(OH)]^{5-}$	2,165	45	-	-	-	-	-	-
$[Cu(OH)_4]^{2-}$	2,134	78,3	2,272	2,061	2,131	190	32	0,86

При изучении реакций комплексообразования значительный интерес представляют спектры замороженных растворов, (когда проявляется анизотропия *g*-фактора и констант СТВ), поскольку анизотропные компоненты являются более чувствительными к окружению парамагнитного иона, чем их средние значения. Анализ спектров ЭПР, снятых в системе Cu(II) – НТФ – H_2O при температуре 77 К, позволил определить их параметры, которые приведены в табл. 1. Понижение температуры раствора и замораживание при 77 К приводит к устойчивости во всем диапазоне pH четырех видов комплексов. Магнитные параметры, полученные из спектров замороженных растворов, подтверждают выводы, полученные при анализе изотропных параметров ЭПР. В кислой области pH спектры ЭПР комплексов меди(II) в замороженных растворах представляют собой анизотропные линии с разрешенными компонентами сверхтонкой структуры в параллельной ориентации. При низких значениях pH термодинамически устойчив аквакомплекс $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$, область существования которого в застеклованных растворах расширяется до pH 3,5. При pH 4 фиксируется образование комплекса $[CuL]^{4-}$, устойчивого в области pH 4-11 и характеризующегося сильной ромбичностью магнитных параметров (табл. 1), что также характерно для тригонально бипирамидальных комплексов. Максимальная дентантность равная четырем легко реализуется при низких температурах, о чем свидетельствует и присутствие комплексной формы $[CuL]^{4-}$ при достаточно низких значениях pH-раствора. Комплексы $[CuH_3L]^-$, $[CuH_2L]^{2-}$, $[CuHL]^{3-}$ характеризуются, вероятно, быстрым протонным обменом, что косвенно подтверждается и отсутствием этих форм в спектрах ЭПР замороженных растворов. Уширение линий приводит к слабой различимости этих форм в спектрах ЭПР. В области pH выше 11 спектры ЭПР комплексов меди(II) имеют сложную форму с плохо разрешенными

компонентами сверхтонкой структуры. В диапазоне pH 11,5-12,75 происходит накопление комплекса $[CuL(OH)]^{5-}$, а при pH 12,75 наряду с этим комплексом начинает накапливаться комплекс $[Cu(OH)_4]^{2-}$ аксиальной симметрии, спектр которого имеет хорошо разрешенную сверхтонкую структуру в области параллельной и перпендикулярной ориентации.

Мы провели оценку параметра ковалентности α^2 (плотности неспаренного электрона на центральном атоме), позволяющую качественно оценить степень ковалентности связи металл – лиганд (табл. 1). Величина α^2 вычислена по формуле [15]:

$$\alpha^2 = \frac{A_\parallel}{P} + (g_\parallel - 2{,}0023) + \frac{3}{7}(g_\perp - 2{,}0023) + 0{,}04, \quad (1)$$

где P – константа, характеризующая сверхтонкое взаимодействие в свободном незакомлексованном центральном атоме, P=0,036 см$^{-1}$ для комплексов меди(II). Значения $g_\parallel$, $g_\perp$, $A_\parallel$ и $A_\perp$ определялись из спектров, снятых при температуре жидкого азота.

Оказалось, что в депротонированном комплексе связь меди(II) с лигандом является наиболее ковалентной. НТФ, выступая в качестве тетрадентатного лиганда в депротонированном комплексе, приводит к укреплению связи в экваториальной плоскости, что находит свое выражение в понижении параметра α^2. Значения g – факторов (<g>), рассчитанных по уравнению:

$$< g >= \frac{g_\parallel + 2g_\perp}{3}, \quad (2)$$

незначительно отличаются от g-факторов, определенных из спектров ЭПР жидких растворов (табл. 1). Это позволяет считать, что в растворе сохраняется симметрия ближайшего окружения меди(II).

По данным метода ЭПР с использованием программы *CPESSP* (Chemical Parametres of Equilibria in Solutions with Solid Phases) [15] были определены константы равновесий и константы устойчивости комплексов (табл. 2).

Таблица 2

Константы равновесия и устойчивости комплексов меди(II) с нитрилотриметиленфосфоновой кислотой

Комплекс	lgK_p	$lg\beta$
$[CuH_3L]^{4-}$	-1,61	5,25
$[CuH_2L]^{2-}$	-4,92	8,08
$[CuHL]^{3-}$	-9,59	10,86
$[CuL]^{4-}$	-16,27	16,07
$[Cu(OH)L]^{5-}$	-28,08	18,26
$[Cu(OH)_4]^{2-}$	-37,1	18,9

В области pH 0-10 для расчетов была использована экспериментальная зависимость <H>=$f(pH)$, где H – напряженность магнитного поля, соответствующей положению точки перегиба для высокопольной компоненты спектра ЭПР. В случае, когда изменения магнитных параметров спектров происходят в пределах ширины линии, можно предположить, что <H> выбранной точки спектра определяется линейной комбинацией характерных значений для присутствующих в равновесии частиц с весом пропорциональным их концентрации. Увеличение pH выше 11 приводит к резкому изменению в форме спектра, связанному с образованием комплексной формы $[Cu(OH)L]^{5-}$ и величина параметра <H> при этом перестает быть линейной комбинацией значения H_i отдельных комплексов. Однако различие в величинах ширины линий приводит к тому, что наложение линий не влияет значительно на амплитуду линии, относящейся к $[CuL(OH)]^{5-}$, что позволило использовать для обработки зависимость $I=f(pH)$ в области pH 10-13,5, где I – интенсивность сигнала ЭПР.

Поиск удовлетворенной сходимости экспериментальных и расчетных данных осуществлялся в ходе поиска минимума функционала:

$$F_{max} = \sum_{n=1}^{N} \left(x_{эксп} - x_{расч}\right)^2, \quad (3)$$

где $x_{эксп}$ – экспериментальное значение свойства – *H* или *I*; $x_{расч}$ – его расчетный аналог.

Для системы Cu(II) – НТФ в области pH 0-13,5 при наличии двухкратного избытка лиганда по отношению к иону металла в области pH>11 происходят процессы депротонирования комплексной формы $[CuL]^{4-}$ с образованием гидроксокомплекса $[Cu(OH)L]^{5-}$, который при дальнейшем увеличении щелочности среды (pH>13,1) распадается с образованием комплекса меди $[Cu(OH)_4]^{2-}$. В ходе расчетных процедур были получены следующие значения констант устойчивости: для $[Cu(OH)L]^{5-}$–18,5±0,04 и $[Cu(OH)_4]^{2-}$–18,9±0,08. Последняя константа имеет хорошую сходимость с литературными данными [14].

На рис. 2 данные по магнитному резонансу приведены в виде диффенциальной зависимости, представляющей отношение изменения положения характерной точки спектра ЭПР к изменению pH раствора.

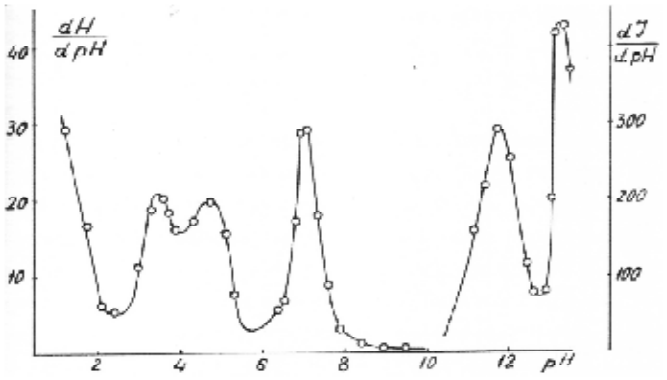


Рис. 2. Изменение $\frac{dП}{dpH}$ и $\frac{dI}{dpH}$ в зависимости от pH-среды; $C_{Cu(II)}$ = 0,02 моль/л; $C_{НТФ}$ = 0,04 моль/л (иллюстрация авторов)

Сопоставление полученной зависимости с распределением комплексных форм показало, что областям максимального накопления отдельных комплексов соответствуют минимальные изменения положения высокопольной компоненты спектра, а границам существования комплексов соответствуют резкие максимумы. Область существования $[CuH_2L]^{2-}$ и граница форм $[CuH_2L]^{2-}$ и $[CuHL]^{3-}$ выражены плохо из-за близости констант образования этих комплексов.

Области существования $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$, $[CuH_3L]^{-}$, $[CuH_3L]^{-}$, $[CuHL]^{3-}$, $[CuL]^{4-}$ и $[Cu(OH)L]^{5-}$ на дифференциальной диаграмме фиксируется наглядно. Нам представляется, что подобный тип зависимости, а именно $\frac{dП}{dpH} – f(pH)$, где *П* – параметр спектра ЭПР, перспективен для описания парамагнитных систем, характеризующихся сложными равновесиями с небольшими относительно ширины линии изменениями магнитных параметров.

Заключение

Методом электронного парамагнитного резонанса изучено формирование комплексов меди(II) с нитрилотриметиленфосфоновой кислотой. Определены константы устойчивости комплексов и области их существования. Установлено, что нитрилотриметиленфосфоновая кислота образует устойчивые комплексные соединения с ионами меди(II) и является перспективным материалом для получения защитных и декоративных металлополимерных покрытий на поверхности изделий, используемых в строительной отрасли.

Список библиографических ссылок

1. Игнатенко Н. Л. Данюшина Г. А., Сербиновский М. Ю., Отыч Н. А., Логинов В. Т., Левинцев В. А. Получение металлополимерных композиционных покрытий

химическим осаждением // Изв. Вузов. Сев.-Кавк. Регион. Техн. Науки. 2008. Спецвыпуск. Композиционные материалы. С. 48–50.
2. Васильева Н. А. Композиционные металлополимерные покрытия, формируемые химическим методом // Изв. Вузов. Сев.-Кавк. Регион. Техн. Науки. 2015. № 4. С. 133–137.
3. Burkat G. K., Fujimura T., Dilator V. Y., Rollover E. A., Veretennikova M. V. Preparation of composite electrochemical nickel-diamond and iron- diamond coatings in the presence of detonation synthesis nanodiamonds // Diamond and Related Materials. 2005. V. 14. № 11-12. P. 1761–1764.
4. Meeraker J. A. On the mechanism of electroless plating: 1. Oxidation of formaldehyde at different electrode surfaces // J. of Appl. Electrochemistry. 2002. № 11. P. 387–393.
5. Калашников В. И., Тараканов О. В. О применении добавок в бетонах нового поколения // Строительные материалы. 2017. № 1-2. С. 62–67.
6. Анисимова С. В., Шурыгина Ю. Н., Павликова С. М., Коршунов А. Е. Полимерные водные дисперсии в технологиях применения сухих строительных смесей // Строительные материалы. 2018. № 3. С. 80–85.
7. Несветаев Г. В., Корянова Ю. И. Влияние нитрилотриметилфосфоновой кислоты на процессы структурообразования напрягающих цементов // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 5. URL: http://naukovedenie.ru (дата обращения: 25.10.2019).
8. Федосов С. В., Бобылев В. И., Ибрагимов А. М., Козлова В. К., Соколов А. М. Моделирование набора прочности бетоном при гидратации цемента // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 38–41.
9. Несветаев Г. В., Потапова Ю. И. Управление собственными деформациями цементного камня изменением состава и количества расширяющей добавки // Научное обозрение. 2013. № 11. С. 46–49.
10. Fedorenko S. V, Grechkina S. L, Mustafina A. R, Tuning the non-covalent confinement of Gd(III) complexes in silica nanoparticles for high T1-weighted MR-imaging capability // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2017. V. 149. P. 243–249.
11. Zenobi M.C., Rueda E.H. Ternary Surface Complex: Coadsorption of Cu(II), Zn(II), Cd(II) and Nitrilotris(methylenephosphonic) acid onto Boehmite // Quim. Nova. 2012. V. 35. № 3. P. 505–509.
12. Коробейникова Е. Ю., Меркулов Д. А. Исследование процессов комплексообразования кобальт(II) и никеля(II) с нитрилотриметиленфосфоновой кислотой // Физика и химия. 2013. № 4. С. 11–14.
13. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 738. № 1. P. 012008.
14. Brustolon M., Gifmello E. Eltctron Paramagnetic Resonance. A Practitioner′s Toolkit. – Hoboken: John Wiley&Sons. Inc. 2009. 553 p.
15. Elistratova J., Mustafina A., Litvinov A., The effect of temperature induced phase transitions in aqueous solutions of triblock copolymers and Triton X-100 on the EPR, magnetic relaxation and luminescent characteristics of Gd(III) and Eu(III) ions // Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects. 2013. V. 422. P. 126–135.

Mukhametshina Rumiya Mugallimovna
candidate of chemical sciences, associate professor
E-mail: rumya211@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st.,1
Morozov Vladimir Ivanovich
E-mail: vmorozov@iopc.ru
A.E. Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, RAS
The organization address: 420088, Russia, Kazan, Arbuzov st., 8

Metal coatings based on complex compounds of copper(II) with nitrilotrimethylene phosphonic acid

Abstract

Problem statement. The aim of the study was to study the complexation processes of copper (II) with nitrilotrimethylene phosphonic acid and to identify the possibility of using nitrilotrimethylene phosphonic acid as copper (II) ion ligands to obtain stable solutions of chemical copper plating.

Results. The formation of copper(II) complexes with nitrilotrimethylene phosphonic acid was studied by electron paramagnetic resonance (EPR). The distribution of complex forms based on the processing of EPR measurements was studied in the form of the dependence dP/ dpH - f (pH), where P is the parameter of the EPR spectrum. The compositions were established and the stability constants of complexes in various media were calculated.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that new materials have been studied on the basis of complexes of copper with nitrilotrimethylene phosphonic acid. It has been established that nitrilotrimethylene phosphonic acid forms stable complex compounds with copper ions and is a promising material for the preparation of protective and decorative metal-polymer coatings on the surface of products used in the construction industry.

Keywords: metal coatings, electron paramagnetic resonance, stability, copper plating, ligand, nitrilotrimethylene phosphonic acid.

References

1. Ignatenko N. L. Danyushina G. A., Serbinovsky M. Yu., Otych N. A., Loginov V. T., Levintsev V. A. Obtaining metal-polymer composite coatings by chemical deposition // Izv. Vuzov. Sev.-Kavk. Region. Tekhn. Nauki. 2008. Spetsvypusk. Kompozitsionnyye materialy. P. 48–50.
2. Vasilieva N. A. Composite metal-polymer coatings formed by the chemical method // Izv. Vuzov. Sev.-Kavk. Region. Tekhn. Nauki. 2015. № 4. P. 133–137.
3. Burkat G. K., Fujimura T., Dilator V. Y., Rollover E. A., Veretennikova M. V. Preparation of composite electrochemical nickel-diamond and iron- diamond coatings in the presence of detonation synthesis nanodiamonds // Diamond and Related Materials. 2005. V. 14. № 11-12. P. 1761–1764.
4. Meeraker J. A. On the mechanism of electroless plating: 1. Oxidation of formaldehyde at different electrode surfaces // J. of Appl. Electrochemistry. 2002. № 11. P. 387–393.
5. Kalashnikov V. I., Tarakanov O. V. The use of additives in new generation concrete // Stroitel'nyye materialy. 2017. № 1-2. P. 62–67.
6. Anisimova S. V., Shurygina Yu. N., Pavlikova S. M., Korshunov A. E. Polymer water dispersions in the technologies for using dry building mixtures // Stroitel'nyye materialy. 2018. № 3. P. 80–85.
7. Nesvetaev G. V., Koryanova Yu. I. The influence of nitrilotrimethylphosphonic acid on the structure formation processes of stress cements // Internet journal «Science of Science». 2015. V. 7. № 5. URL: http://naukovedenie.ru (reference date: 25.10.2019).
8. Fedosov S. V., Bobylev V. I., Ibragimov A. M., Kozlova V. K., Sokolov A. M. Modeling of concrete strength during cement hydration // Stroitel'nyye materialy. 2011. № 11. P. 38–41.
9. Nesvetaev G. V., Potapova Yu. I. Management of own deformation of cement stone by changing the composition and amount of expanding additives // Nauchnoye obozreniye. 2013. № 11. P. 46–49.
10. Fedorenko S. V., Grechkina S. L., Mustafina A. R. Tuning the non-covalent confinement of Gd(III) complexes in silica nanoparticles for high T1-weighted MR-imaging capability // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2017. V. 149. P. 243–249.

11. Zenobi M. C., Rueda E. H. Ternary Surface Complex: Coadsorption of Cu(II), Zn(II), Cd(II) and Nitrilotris(methylenephosphonic) acid onto Boehmite // Quim. Nova. 2012. V. 35. № 3. P. 505–509.
12. Korobeynikova E. Yu., Merkulov D. A. Investigation of the complexation processes of cobalt (II) and nickel (II) with nitrilotrimethylene phosphonic acid // Fizika i khimiya. 2013. № 4. P. 11–14.
13. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. № 1. P. 012008.
14. Brustolon M., Gifmello E. Eltctron Paramagnetic Resonance. A Practitioner′s Toolkit. Hoboken : John Wiley&Sons. Inc. 2009. 553 p.
15. Elistratova J., Mustafina A., Litvinov A. The effect of temperature induced phase transitions in aqueous solutions of triblock copolymers and Triton X-100 on the EPR, magnetic relaxation and luminescent characteristics of Gd(III) and Eu(III) ions // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2013. V. 422. P. 126–135.

УДК 678.643.425.033:620.193.8
Строганов Виктор Федорович
доктор химических наук, профессор
E-mail: svf08@mail.ru
Сагадеев Евгений Владимирович
доктор химических наук, профессор
E-mail: sagadeev@list.ru
Ибрагимов Руслан Абдирашитович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: rusmag007@yandex.ru
Пименов Сергей Иванович
кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: 3.14manon@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Стоянов Олег Владиславович
доктор технических наук, профессор
E-mail: ov_stoyanov@mail.ru
Казанский национальный исследовательский технологический университет
Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

Исследование влияния модификаторов различной структуры и механоактивации вяжущего на биостойкость цементных композитов

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – изучение влияния на биостойкость цементных композитов способов модификации: углеродными нанотрубками; углеродными нанотрубками совместно с суперпластификатором; механической активацией вяжущего совместно с нанотрубками и суперпластификатором.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в проведении кинетических исследований по определению биостойкости серий модифицированных цементных композитов, полученных с механической активацией портландцемента.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что получены данные по биостойкости цементных композитов, модифицированных нанотрубками, как отдельно, так и в комплексе с суперпластификатором, а также полученных механической активацией вяжущего совместно с нанотрубками и суперпластификатором.

Ключевые слова: цементный композит, суперпластификатор, углеродные нанотрубки, механическая активация, лимонная кислота.

Введение

Как известно, улучшение прочностных и эксплуатационных характеристик цементных композиций (включая также их биостойкость) можно получить как за счет модификации поверхности минерального вяжущего добавками водорегулирующего действия (суперпластификаторами различной химической структуры) [1], за счет внутреннего «армирования» структуры строительного материала углеродными наноматериалами [2, 3], так и за счет механической активации портландцемента [4, 5].

Так, в последнее время, в строительной практике при изготовлении минеральных строительных материалов все более широкое применение находят высокоэффективные суперпластификаторы различной химической природы [1], позволяющие резко снизить водоцементное отношение и, таким образом, уменьшить разжижение бетонных смесей [6].

Среди наномодификаторов строительных материалов наиболее часто применяются одно- и многослойные углеродные нанотрубки (УНТ) различного строения и степени функционализации [7, 8].

Как известно, среди существующих способов активации портландцемента (химические, электрохимические, механические, термические, электромагнитные) приоритет по праву принадлежит механическим способам повышения реакционной способности минерального вяжущего [9-12]. Это связано с тем, что при относительно небольших расходах на оборудование, механические способы активации портландцемента позволяют более полно раскрыть возможности вяжущего, резко ускорить процессы структурообразования бетона и более эффективно использовать минеральные добавки [5].

В этой связи, в работе изучалось влияние на биостойкость цементных композитов совместного введения УНТ различной структуры и степени функционализации, суперпластификатора и механической активации портландцемента.

Объекты и методы исследований

Среди наномодификаторов строительных материалов наиболее часто применяются одно- и многослойные углеродные нанотрубки (УНТ) различного строения и степени функционализации (рис. 1, 2).

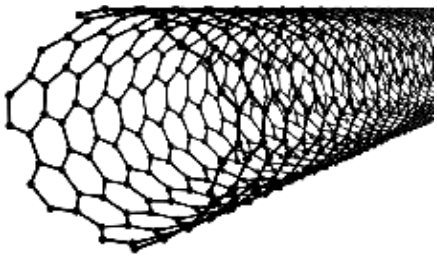


Рис. 1. Однослойные малофункционализированные УНТ (https://www.cheaptubes.com)

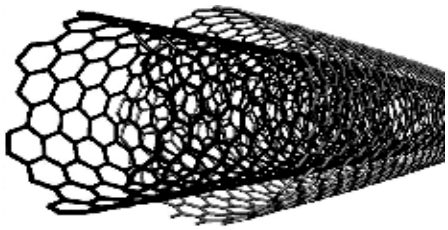


Рис. 2. Многослойные многофункционализированные УНТ (https://nanografi.com)

Исследуемые цементные композиции представляли собой цементно-песчаный раствор (ЦПР) на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 Новотроицкого цементного завода, соответствующего требованиям ГОСТ 31108-2016. Выбор портландцемента данной марки обусловлен большей эффективностью при механической активации. Использование гранулированного доменного шлака в качестве активной минеральной добавки с одной стороны позволяет экономить клинкер, а с другой стороны – решить актуальную экологическую проблему по утилизации отходов промышленного производства.

В качестве наномодификаторов применяли однослойные малофункционализированные УНТ «Tuball», производства компании «OCSiAl» и многослойные многофункционализированные УНТ «Graphistrength», производства фирмы «Arkema». Дозировка УНТ составила 0,005 % от массы портландцемента.

В качестве суперпластификатора применяли добавку Реламикс Т-2 (натриевая соль поликарбонилнафталинсульфоновых кислот). Дозировка суперпластификатора составила 1 % от массы портландцемента.

Механическую активацию портландцемента проводили в аппарате с вихревым слоем (АВС) (модель 297, производитель ООО «Регионметтранс»).

В качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок Камско-Устьинского месторождения с модулем крупности 2,7, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736-2014.

Для проведения испытаний в соответствии с ГОСТ 310.4-81 образцы ЦПР изготовляли в виде балочек размером 160×40×40 мм шестью сериями:

1. состав ЦПР, модифицированный УНТ «Tuball»;
2. состав ЦПР, модифицированный УНТ «Tuball» и с добавкой суперпластификатора Реламикс Т-2;
3. состав ЦПР, модифицированный УНТ «Tuball», с добавкой суперпластификатора Реламикс Т-2 с механической активацией портландцемента в АВС в течение 5 минут.
4. состав ЦПР, модифицированный УНТ «Graphistrength»;
5. состав ЦПР, модифицированный УНТ «Graphistrength» и с добавкой суперпластификатора Реламикс Т-2;

6. состав ЦПР, модифицированный УНТ «Graphistrength», с добавкой суперпластификатора Реламикс Т-2 с механической активацией портландцемента в АВС в течение 5 минут.

Обсуждение результатов

В работе в продолжение ранее начатых исследований [13, 14] моделировался процесс биоповреждения ЦПР в слабоагрессивной среде лимонной кислоты с pH = 3 (рекомендуемое в литературе значение для карбоновых кислот [15]) в течение восьми суток при температуре 40 °С. Изучение биостойкости образцов ЦПР проводилось в лабораторной кинетической установке, согласно [16].

Полученные результаты кинетических исследований представлены на рис. 3-6.

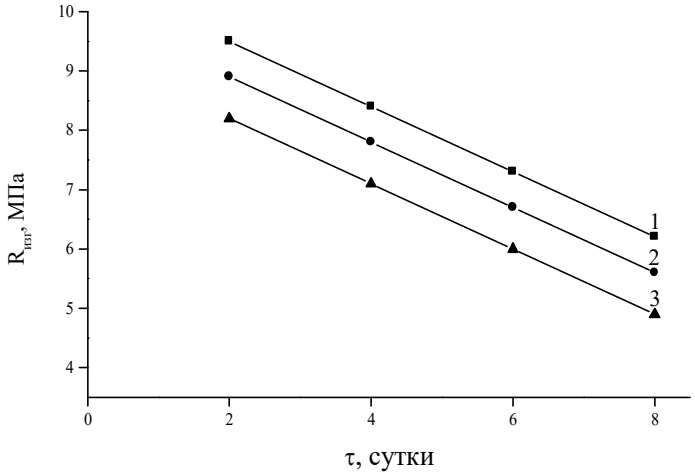


Рис. 3. Зависимость прочностных характеристик на изгиб образцов ЦПР от времени экспозиции в модельной среде (иллюстрация авторов):
1 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Tuball», Реламикс Т-2 и механоактивацией;
2 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Tuball» и Реламикс Т-2;
3 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Tuball»

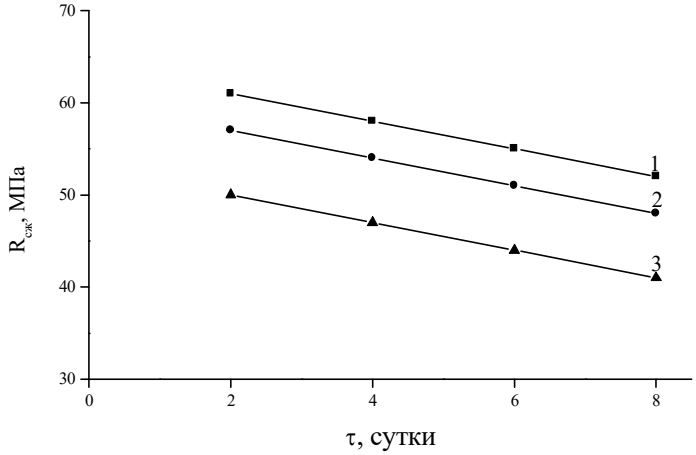


Рис. 4. Зависимость прочностных характеристик на сжатие образцов ЦПР от времени экспозиции в модельной среде (иллюстрация авторов):
1 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Tuball», Реламикс Т-2 и механоактивацией;
2 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Tuball» и Реламикс Т-2;
3 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Tuball»

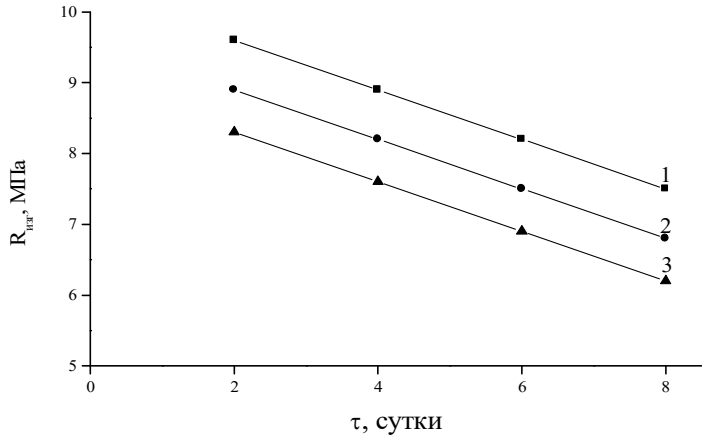


Рис. 5. Зависимость прочностных характеристик на изгиб образцов ЦПР от времени экспозиции в модельной среде (иллюстрация авторов):
1 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Graphistrength», Реламикс Т-2 и механоактивацией;
2 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Graphistrength» и Реламикс Т-2;
3 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Graphistrength»

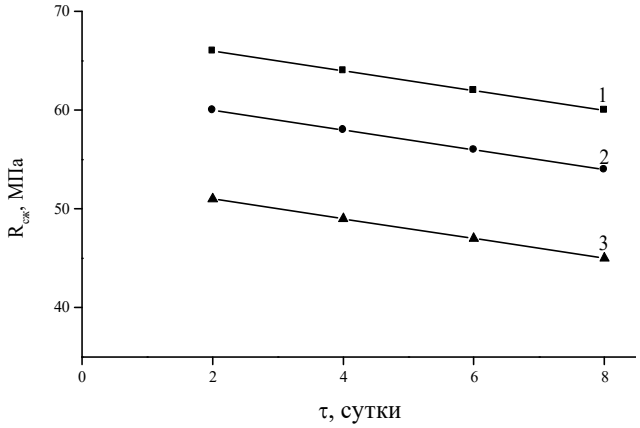


Рис. 6. Зависимость прочностных характеристик на сжатие образцов ЦПР от времени экспозиции в модельной среде: (иллюстрация авторов)
1 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Graphistrength», Реламикс Т-2 и механоактивацией;
2 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Graphistrength» и Реламикс Т-2;
3 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением УНТ «Graphistrength»

На основе анализа полученных кинетических результатов можно сделать вывод, что в процессе экспозиции образцов ЦПР в модельной среде наблюдается падение их прочностных характеристик на изгиб и сжатие. Все зависимости $R_{изг} = f(\tau)$ и $R_{сж} = f(\tau)$ имеют линейный характер. Коэффициент корреляции r кинетических зависимостей имеет значение не менее 0,999, а стандартное отклонение S_d равно 0,01 и менее.

Для количественной оценки процесса биоповреждения ЦПР использовался коэффициент биостойкости (К):

$$K = R^1/R^o, \quad (1)$$

где R^1 – прочность при изгибе (или сжатии) после 8 суток экспозиции в модельной среде; R^o – исходная прочность образца до испытаний на биостойкость.

Процесс взаимодействия ЦПР со средой лимонной кислоты количественно представлен в виде значений коэффициентов биостойкости (табл. 1) и результатов потери прочности образцов ЦПР после экспозиции в среде (табл. 2).

Таблица 1

Коэффициенты биостойкости ЦПР после экспозиции в модельной среде лимонной кислоты при температуре 40 °С в течение 8 суток

Номера серий	Марка портландцемента и добавки для изготовления ЦПР	$K_{изг}$	$K_{сж}$
1	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с УНТ «Tuball»	0,58	0,68
2	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с УНТ «Tuball» и Реламикс Т-2	0,62	0,77
3	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с «Tuball», Реламикс Т-2 и механоактивацией	0,65	0,80
4	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с УНТ «Graphistrength»	0,73	0,75
5	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с УНТ «Graphistrength» и Реламикс Т-2	0,75	0,83
6	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с «Graphistrength», Реламикс Т-2 и механоактивацией	0,77	0,88

Таблица 2

Результаты потери прочности ЦПР после экспозиции в модельной среде лимонной кислоты при температуре 40 °С в течение 8 суток

Номера серий	Марка портландцемента и добавки для изготовления ЦПР	Потеря прочности, %	
		$\Delta R_{изг}$	$\Delta R_{сж}$
1	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с УНТ «Tuball»	42,4	31,7
2	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с УНТ «Tuball» и Реламикс Т-2	37,8	22,6
3	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с «Tuball», Реламикс Т-2 и механоактивацией	35,4	20,0
4	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с УНТ «Graphistrength»	27,1	25,0
5	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с УНТ «Graphistrength» и Реламикс Т-2	25,3	16,9
6	ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с «Graphistrength», Реламикс Т-2 и механоактивацией	23,5	11,8

Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод, что введение УНТ, как «Tuball», так и «Graphistrength» (вне зависимости от степени их функционализации), позволяет существенно повысить биостойкость изучаемых цементных композиций – коэффициент биостойкости на сжатие повышается с исходного значения 0,46 (контроль) [14] до 0,68 (образцы состава № 1) и до 0,75 (образцы состава № 4), соответственно. Наиболее высокую биостойкость показывают образцы составов № 3 и № 6, при этом коэффициент биостойкости на сжатие этих композиций, полученных механоактивацией вяжущего и модифицированных суперпластификатором, за счет введения УНТ как «Tuball», так и «Graphistrength» повышается с исходного значения 0,52 [14] до 0,80 (образцы состава № 3) и 0,88 (образцы состава № 6), соответственно.

Анализируя данные табл. 2, можно сделать вывод, что образцы ЦПР с добавкой УНТ, как «Tuball», так и «Graphistrength», но полученные без использования суперпластификатора и проведения механоактивации, характеризуются наибольшей способностью к биоповреждению – потеря прочности на сжатие составляет 31,7 % (образцы состава № 1) и 25,0 % (образцы состава № 4), соответственно. Введение суперпластификатора повышает биостойкость ЦПР (образцы составов № 2 и 4). Образцы ЦПР, модифицированные введением УНТ «Graphistrength» и добавкой Реламикс Т-2 с механической активацией минерального вяжущего, проявляют наиболее высокую степень биостойкости – потеря прочности на сжатие составляет 11,8 % (образцы состава № 6), что является наименьшим показателем в изучаемом ряду ЦПР.

Таким образом, изменение биостойкости в ряду ЦПР в процессе экспозиции их в среде лимонной кислоты определяется не только маркой портландцемента, но и дополнительным введением УНТ, суперпластификатора и проведением механической активации вяжущего.

Заключение

На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод, что совместное введение углеродных нанотрубок (вне зависимости от степени их функционализации), суперпластификатора и проведение механической активации минерального вяжущего существенно повышают биостойкость цементных композитов.

Список библиографических ссылок

1. Ibragimov R., Fediuk R. Improving the early strength of concrete: Effect of mechanochemical activation of the cementitious suspension and using of various superplasticizers // Construction and Building Materials. 2019. V. 226. P. 839–848.
2. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete (a review) // Construction and Building Materials. 2010. V. 24. P. 2060–2071.
3. Brown L., Sanchez F. Influence of carbon nanofiber clustering in cement pastesexposed to sulfate attack // Construction and Building Materials. 2018. V. 166. P. 181–187.
4. Balczar I., Korim T., Hullar H., Boros A., Mako E. Manufacture of air-cooled slag-based alkali-activated cements using mechanochemical activation // Construction and Building Materials. 2017. V. 137. P. 216–223.
5. Щербина О. С., Барабаш Т. И. Прочность цементного камня на механоактивированном портландцементе с добавкой доменного шлака // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры (Украина). 2017. № 66. С. 129–133.
6. Хозин В. Г., Красиникова Н. М., Ерусланова Э. В. Легкие поризованные бетоны на основе сухих смесей // Строительные материалы. 2018. № 9. С. 40–45.
7. Шуйский А. И., Явруян Х. С., Торлина Е. А., Филонов И. А., Фесенко Д. А. Настоящее и будущее применения нанотехнологий в производстве строительных материалов // Вестник Московского государственного строительного университета. 2012. № 12. С. 154–160.
8. Шейда О. Ю., Батяновский Э. И. Влияние комплексной химической добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал, на свойства цемента // Science&Technique (Наука и техника, Беларусь). 2015. № 2. С. 30–38.
9. Торлина Е. А., Шуйский А. И., Ткаченко Г. А., Явруян Х. С., Филонов И. А., Фесенко Д. А. Электромагнитная активация цементного теста и пенобетонной смеси // Вестник Московского государственного строительного университета. 2012. № 12. С. 149–153.
10. Андреева А. В., Давыдова Н. Н., Буренина О. Н., Петухова Е. С. Улучшение качества мелкозернистого бетона путем механоактивации цемента // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 94 (10). С. 1–13.
11. Федюк Р. С., Мочалов А. В., Лесовик В. С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор) // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 4 (37). С. 85–99.
12. Ilic B., Mitrovic A., Milicic L., Zdujic M. Compressive strength and microstructure of ordinary cured and autoclaved cement-based composites with mechanically activated kaolins // Construction and Building Materials. 2018. V. 178. P. 92–101.
13. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Биоповреждение строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 5–9.
14. Yakovleva G., Sagadeev E., Stroganov V., Kozlova O., Okunev R., Ilinskaya O. Metabolic activity of micromycetes affecting urban concrete constructions // The Scientific World Journal. V. 2018. 9 p.

15. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Введение в биоповреждение строительных материалов: монография. Казань : КГАСУ, 2014. 200 с.
16. Лабораторная установка для испытания образцов строительных материалов на биостойкость в модельных средах : пат. № 170410 Рос. Федерация. № 2016123279 ; заявл. 10.06.2016 ; опубл. 24.04.2017. Бюл. № 12. 1 с.

Stroganov Viktor Fedorovich
doctor of chemical sciences, professor
E-mail: svf08@mail.ru
Sagadeev Evgeniy Vladimirovich
doctor of chemical sciences, professor
E-mail: sagadeev@list.ru
Ibragimov Ruslan Abdirashitovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: rusmag007@yandex.ru
Pimenov Sergey Ivanovich
candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: 3.14manon@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Stoyanov Oleg Vladislavovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: ov_stoyanov@mail.ru
Kazan National Research Technological University
The organization address: 420015, Russia, Kazan, Karl Marx st., 68

Investigation of the effect of modifiers of various structures and mechanical activation of a binder on the biostability of cement composites

Abstract

Problem statement. The purpose of the study was to study the effect of modification methods on the biostability of cement composites: carbon nanotubes; carbon nanotubes together with superplasticizer; mechanical activation of the binder together with nanotubes and superplasticizer.

Results. The main results of the study consist of kinetic studies to determine the biostability of a series of modified cement composites obtained with mechanical activation of Portland cement.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that the biostability data of cement composites modified with nanotubes both separately and in combination with superplasticizer, as well as those obtained by mechanical activation of a binder together with nanotubes and superplasticizer, were obtained.

Keywords: cement composite, superplasticizer, carbon nanotubes, mechanical activation, citric acid.

References

1. Ibragimov R., Fediuk R. Improving the early strength of concrete: Effect of mechanochemical activation of the cementitious suspension and using of various superplasticizers // Construction and Building Materials. 2019. V. 226. P. 839–848.
2. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete (a review) // Construction and Building Materials. 2010. V. 24. P. 2060–2071.
3. Brown L., Sanchez F. Influence of carbon nanofiber clustering in cement pastesexposed to sulfate attack // Construction and Building Materials. 2018. V. 166. P. 181–187.

4. Balczar I., Korim T., Hullar H., Boros A., Mako E. Manufacture of air-cooled slag-based alkali-activated cements using mechanochemical activation // Construction and Building Materials. 2017. V. 137. P. 216–223.
5. Sherbina O. S., Barabash T. I. The strength of cement stone on mechanically activated portland slag cement // Vestnik Odesskoy gosudarstvennoy academii stroitel'stva i arhitektury (Ukraina). 2017. № 66. P. 129–133.
6. Khozin V. G., Krasinikova N. M., Eruslanova E. V. Light porous concretes on the basis of dry mixtures // Stroitel'nye materialy. 2018. № 9. P. 40–45.
7. Shuyskiy A. I., Yavruyan Kh. S., Torlina E. A., Filonov I. A., Fesenko D. A. Present-day and future applications of nanotechnologies in the production of building materials // Vestnik MGSU. 2012. № 12. P. 154–160.
8. Sheyda O. Yu., Batyanovsky E. I. The influence of the complex chemical additive containing the structured carbon nanomaterial on properties of cement // Nauka i tehnika (Belarus). 2015. № 2. P. 30–38.
9. Torlina E. A., Shuyskiy A. I., Tkachenko G. A., Yavruyan Kh. S., Filonov I. A., Fesenko D. A. Electromagnetic activation of water-cement pastes and foam concretes // Vestnik MGSU. 2012. № 12. P. 149–153.
10. Andreeva A. V., Davydova N. N., Burenina O. N., Petukhova E. S. Improvement of quality of fine-grained concrete with cement mechanical activation // Polytematichesky setevoy electronniy nauchny journal KubGAU. 2013. № 94 (10). P. 1–13.
11. Fediuk R., Mochalov A., Lesovik V. Modern activation methods for binder and concrete mixtures (review) // Vestnik inzenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. 2018. № 4 (37). P. 85–99.
12. Ilic B., Mitrovic A., Milicic L., Zdujic M. Compressive strength and microstructure of ordinary cured and autoclaved cement-based composites with mechanically activated kaolins // Construction and Building Materials. 2018. V. 178. P. 92–101.
13. Stroganov V. F., Sagadeev E. V. Biodeterioration of construction materials // Stroitel'nye materialy. 2015. № 5. P. 5–9.
14. Yakovleva G., Sagadeev E., Stroganov V., Kozlova O., Okunev R., Ilinskaya O. Metabolic activity of micromycetes affecting urban concrete constructions // The Scientific World Journal. V. 2018. 9 p.
15. Stroganov V. F., Sagadeev E. V. Introduction to the biodeterioration of construction materials: monograph. Kazan : KGASU, 2014. 200 p.
16. The laboratory setup for testing samples of construction materials on the biostability in modeling mediums : patent № 170410 of Rus. Federation. № 2016123279 ; decl. 10.06.2016 ; publ: 24.04.2017. Bull. in № 12. 1 p.

УДК 678:620.169.1
Сулейманов Альфред Мидхатович
доктор технических наук, профессор
E-mail: sulejmanov@kgasu.ru
Смирнов Денис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Лобанова Ангелина Сергеевна
лаборант
E-mail: lobangelina@icloud.com
АО «КВАРТ»
Адрес организации: 420054, Россия, г. Казань, ул. Техническая, д. 25

Метод оценки долговечности набухающей резины для пакеров

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявление разработки методики, а также проведение на ее основе сравнительных испытаний и оценки долговечности эластомера зарубежного и российского, используемого для производства пакеров.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в установлении режима ускоренных испытаний водонабухающих пакеров для определения изменения их свойств при старении в термовлажностном и напряженно-деформированном состоянии. Факторами старения водонабухающих пакеров в настоящей методике являются: температура, вода и механическое напряжение. Ускоренные испытания проводились в два этапа. Первый этап включает ускоренные испытания образцов в воздушносухих условиях. Второй этап включает стендовые испытания в водонасыщенном состоянии.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что упруго-эластичные свойства эластомера влияют на способность пакера сдерживать гидростатическое давление межпластовой воды. Кроме того, твердость, упругость и величина остаточной деформации эластомера способствуют его сохранности в случае механических воздействий, которые могут возникнуть при его монтаже, доставке и хранении. Водонабухающие пакеры с эластомером производства «Кварт» обладают более высокими показателями твердости, упругости и степенью набухания по сравнению с аналогом, в меньшей степени подвержены деструктивным процессам при термическом старении и лучше сохраняют свои свойства, соответственно имеют большую долговечность.

Ключевые слова: водонабухающие пакеры (ВНП), эластомер, гидростатическое давление, термическое старение, долговечность.

Введение

Водонабухающие пакеры предназначены для надёжной и необратимой изоляции пластов при строительстве и эксплуатации скважин. Эластомер, используемый для изготовления пакера, может иметь более широкое применение и использоваться, например, в гидротехническом строительстве, для гидроизоляции швов на объектах промышленного, гражданского и транспортного строительства.

При контакте водонабухающих пакеров со скважинными флюидами эластомер разбухает за счет поглощения жидкости и герметизирует затрубное пространство в открытой или обсаженной скважине, как при строительстве, так и при капитальном ремонте скважин.

Данные пакеры не имеют движущихся частей, для их установки в затрубном пространстве не требуется специальное оборудование, и поэтому вероятность отказа такого оборудования исключается. Применение водонабухающих пакеров для разобщения пластов в скважине служит безопасной и упрощенной альтернативой цементированию и перфорации [1-3].

В настоящее время, как за рубежом, так и в России, для селективного разобщения пластов при закачивании скважин широко применяются набухающие пакеры, в которых уплотнительный элемент выполнен из эластомера, способного увеличиваться в объеме при контакте с определенными пластовыми жидкостями (водой или нефтью) [4]. В основном, применяются набухающие пакеры импортного производства.

Недостатком импортных водонефтенабухающих пакеров являются высокие цены, длительные сроки выполнения заказа и поставки [5, 6]. Водонабухающий резино-полимерный состав, разработанный специалистами ПАО «Татнефть» и АО «КВАРТ», способен набухать в условиях высокой минерализации пластовой воды. На основе разработанной резино-полимерной смеси в АО «КВАРТ» изготовлен водонабухающий пакер для селективного закачивания горизонтальной скважины.

Для первого этапа испытаний показателями старения выбраны следующие характеристики эластомера: масса, твердость, величина остаточной деформации, величина кратковременного статического сжатия, статический модуль упругости при сжатии и наиболее значимый для пакера контролируемый показатель – степень набухания.

Для второго этапа испытаний показателем старения стало напряжение, возникающее в процессе выдавливания набухшего в воде пакера из трубы, имитирующей ствол скважины соответствующего диаметра.

Сравнительные ускоренные испытания эластомера (Этап I)

Термостатирование образцов эластомера проводили в соответствии с ГОСТ 9.024 «Резины. Метод испытания на стойкость к термическому старению». Старение конкретной резины, в зависимости от типа полимера, на основе которого она изготовлена, проводят при одном или нескольких значениях температуры, указанных в стандартах на резину или резиновое изделие. Для испытуемых видов резины приняты следующие значения температур – 20, 75, 100, 125ºС. Выбор температур связан не только с типом полимера, но и с видом используемого набухающего компонента в их составе. После старения эластомера при заданных температурах в течение 12, 24, 72, 168, 336, 504, 672 и 840 часов, образцы 24 часа кондиционировались при комнатной температуре, а затем определялись их масса, твердость и деформационные характеристики. Результаты испытаний приведены в табл. 1-2.

Таблица 1

Результаты изменения массы образцов «Кварт»

Температура термостатирования	Период термостатирования, сут								
	0	0,5	1	3	7	14	21	28	35
20	0	0,15	0,27	0,35657	0,3670	0,3950	0,4859	0,5558	0,5558
75	0	0,7892	1,01673	1,49023	1,9674	2,2426	2,4702	2,5179	2,7382
100	0	1,9051	2,38136	3,13718	3,6824	4,0207	4,2036	4,3140	4,3244
125	0	3,3062	3,80106	4,32819	4,6509	4,6796	4,6867	4,7082	4,7119

Таблица 2

Результаты изменения массы образцов зарубежного аналога

Температура термостатирования	Период термостатирования, сут								
	0	0,5	1	3	7	14	21	28	35
20	0	0,35	0,45	0,59358	0,66152	0,93685	1,32304	1,36237	1,416
75	0	2,1001	2,66754	3,70203	4,56008	5,02024	5,39044	5,64301	5,7087
100	0	4,2197	5,44797	6,58404	7,16683	7,52831	7,77913	8,3988	8,4873
125	0	6,1999	7,20626	8,08683	8,68705	9,31603	9,60716	9,60716	9,6072

Сравнительная оценка изменения массы образцов при термостатировании

Образцы термостатированные при 20ºС выдерживали при относительной влажности воздуха 40 %.

Термостатирование образцов при 125ºС показало, что эластомер, изготовленный на ЗАО «Кварт», значительно меньше теряет массу (4,71 %) по сравнению с эластомером зарубежного производства (9,61 %), что косвенно указывает на меньшие структурные изменения, протекающие в процессе старения и, как следствие, в большей степени способствует сохранению свойств эластомера.

Наиболее интенсивное снижение массы наблюдается в первые часы термостатирования, особенно при повышенных температурах. Так образцы эластомера производства «Кварт» через 12 часов выдержки при 75ºС потеряли 0,79 % массы, при 100ºС – 1,91 %, а при 125ºС – 3,31 %, что составляет 29 %, 44 % и 70 % от общей потери массы в возрасте 840 часов при температурах 75ºС, 100ºС и 125ºС соответственно. Эти же показатели в возрасте 12 часов для образцов эластомера импортного аналога составили 2,1 %, 4,2 % и 6,2 % что составляет 37 %, 49 % и 64 % от общей потери массы в возрасте 840 часов при температурах 75ºС, 100ºС и 125ºС соответственно. В дальнейшем интенсивность снижения массы для обоих типов эластомера замедляется.

Существенное замедление потери массы для образцов «Кварт» наблюдается после 168 часов (7 суток) термостатирования при температуре 125ºС и 504 часов (21 суток) термостатирования при температуре 100ºС. Для образцов зарубежного производства замедление потери массы наблюдается после 504 часов (21 суток) термостатирования при температуре 125ºС и 672 часов (28 суток) термостатирования при температуре 100ºС.

Сравнительная оценка изменения твердости образцов при термостатировании

Твердость определяли на приборе ТШМ-2 по глубине погружения шарика диаметром 5 мм в течение 30 секунд под нагрузкой и затем рассчитывали по формуле (1):

$$T_{Ш} = \frac{P}{\pi dH}, \quad (1)$$

где P – груз 1 кгс, d – диаметр шарика 0,5 см, H – глубина погружения шарика.

Упруго-эластичные свойства эластомера влияют на способность пакера сдерживать гидростатическое давление межпластовой воды. Кроме того, твердость, упругость, величина остаточной деформации эластомера способствуют его сохранности в случае механических воздействий, которые могут возникнуть при его монтаже, доставке или хранении [7].

Твердость эластомеров отечественного и зарубежного производства существенно отличаются. Согласно полученным результатам твердость эластомера «Кварт» (264) почти в 1,5 раза выше твердости эластомера зарубежного производства (182). При термостатировании твердость эластомеров возрастает по мере увеличения температуры и сроков выдержки. Так, после 840 часов термостатирования при температуре 125ºС твердость образцов «Кварт» возросла в среднем на 370 % (1238), а образцов зарубежного аналога на 380 % (872). Результаты испытаний приведены в табл. 3-4.

Таблица 3

Результаты изменения твердости образцов резины «Кварт»

Температура термостатирования	Период термостатирования, сут.								
	0	0,5	1	3	7	14	21	28	35
20	263,26	263,26	263,26	269,21	285,89	299,57	313,95	326,20	327,09
75	263,26	286,07	287,13	326,20	320,00	313,42	343,95	375,54	385,98
100	263,26	361,53	362,70	404,94	415,05	447,67	470,12	503,57	568,65
125	263,26	320,62	363,74	443,36	502,64	963,84	1152,56	1238,50	1203,11

Таблица 4

Результаты изменения твердости образцов резины зарубежного аналога

Температура термостатирования	Период термостатирования, сут.								
	0	0,5	1	3	7	14	21	28	35
20	182,66	182,66	182,65	200,22	191,80	193,13	199,17	202,01	201,71
75	182,66	192,49	191,67	220,91	205,60	207,89	208,01	222,05	228,26
100	182,66	262,03	246,77	281,59	266,35	261,03	283,86	310,21	335,15
125	182,66	279,27	274,49	289,91	302,92	359,44	517,17	893,07	872

Следует отметить, что интенсивное увеличение твердости в процессе термостатирования при температуре 125ºС у образцов «Кварт» наблюдается после 168 часов (7 суток), а у образцов зарубежного аналога после 336 часов (14 суток). До этого твердость образцов «Кварт» увеличилась лишь на 90 %, а образцов зарубежного аналога – на 97 %. Заметное увеличение твердости образцов в процессе термостатирования при этой температуре совпадает с моментом стабилизации их массы. Потеря массы образцов эластомера, производства «Кварт» происходит после 168 часов (7 суток) термостатирования, одновременно с этим резко увеличивается и их твердость. Для импортных образцов увеличение твердости и стабилизация показателей изменения массы соответствует периоду термостатирования от 336 до 504 часов (от 14 до 21 суток).

Сравнительная оценка изменения остаточной деформации образцов при термостатировании

Остаточную деформацию образцов определяли путем сжатия их в струбцинах, последующего термостатирования в деформированном (сжатом) состоянии и дальнейшей релаксации образцов при комнатной температуре в течение 30 минут. Расчет остаточной деформации проводили по формуле (2):

$$\varepsilon_{ост} = \frac{H_0 - H_2}{H_0 - H_1} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где H_0 – высота образца до испытаний, H_1 – высота образца после отдыха, H_2 – высота образца в сжатом состоянии.

Следует отметить, что чем выше величина остаточной деформации, тем в меньшей степени проявляются упруго-эластичные свойства эластомера [8, 9], т.е. он перестает восстанавливать свою первоначальную форму и размеры (табл. 5-6).

Таблица 5

Изменение величины остаточной деформации образцов резины «Кварт»

температура термостатирования	Период термостатирования, сут.								
	0	0,5	1	3	7	14	21	28	35
20	0,00	40,00	45,00	49,01	50,81	59,98	64,96	65,41	65,86
75	0,00	74,63	76,28	83,88	85,79	85,98	87,53	88,72	88,72
100	0,00	82,54	86,43	90,22	91,51	91,91	92,91	93,01	93,01
125	0,00	90,53	93,36	94,06	95,86	97,05	97,23	97,32	97,32

Таблица 6

Изменение величины остаточной деформации образцов резины зарубежного аналога

температура термостатирования	Период термостатирования, сут.								
	0	0,5	1	3	7	14	21	28	35
20	0,00	35,00	40,00	44,36	46,47	53,54	56,89	56,89	57,71
75	0,00	40,15	67,46	78,61	83,57	88,02	89,98	91,18	92,35
100	0,00	72,33	82,13	92,86	95,32	95,20	95,08	95,82	96,16
125	0,00	86,87	92,87	95,13	95,36	96,25	96,48	97,05	97,74

Величина остаточной деформации эластомера не значимый для данного вида изделий показатель, т.к. в реальных условиях его эксплуатации внешние воздействия подобного рода себя не проявляют. Однако возможны внештатные ситуации, когда на ВНП оказывается длительное по продолжительности механическое воздействие (например, в процессе хранения), в результате чего он деформируется. В этом случае после снятия нагрузки он должен принять исходную форму и размеры.

Определение степени набухания после термостатирования

Для оценки способности эластомера к набуханию после старения термостатированные образцы погружали на 2 недели в воду, после чего определяли степень набухания по отношению к первоначальному объему. Для ВНП данный показатель является наиболее значимым, т.к. гарантирует способность эффективно изолировать пласты в течение длительного периода его эксплуатации. Результаты приведены в табл. 7-8.

Таблица 7

Изменение набухания образцов «Кварт»

температура термостатирования	Период термостатирования, сут						
	0	3	7	14	21	28	35
20	1011,6						
75	1011,6	929,4	832,8	780,3	744,6	724,5	711,7
100		766,7	700	623,7	584,9	477,33	455,1
125		651,5	471,4	428,2	406,8	390,1	376,1

Таблица 8

Изменение набухания образцов зарубежного аналога

температура термостатирования	Период термостатирования, сут						
	0	3	7	14	21	28	35
20	767,6						
75	767,6	698,6	677,3	663,9	624,6	552,2	539,7
100		698,6	614,3	392,8	372,8	310,2	174,3
125		567,1	409,7	281,4	258,5	256	71,4

Как видно из результатов испытаний до термостатирования образцы эластомера, вырезанные из пакера «Кварт», после набухания имеют в 1,3 раза больший объем (1011,6 %), чем образцы импортного производства (767,6 %). Следует отметить более интенсивное снижение степени набухания образцов импортного эластомера после термостатирования по сравнению с образцами «Кварт». Так, при температурах 75°С, 100°С и 125°С степень набухания у образцов «Кварт» снизилась на 30, 55 и 63 % соответственно, тогда как эти же показатели у образцов зарубежного аналога составили уже 30, 77 и 91 %. Более того изменение величины набухания у образцов «Кварт» после термостатирования при температуре 75°С стабилизируется после 21 суток, при 100°С после 28 суток и при 125°С после 14 суток. У импортных образцов стабилизация степени набухания наблюдается только после термостатирования при 75°С в возрасте 28 суток, а при более высоких температурах по мере увеличения периода термостатирования способность эластомера к набуханию заметно снижается.

Сравнительная оценка изменения величины кратковременного статического сжатия образцов при термостатировании: испытание на сжатие проводили до заданной деформации на разрывной машине с использованием реверса. Величина деформации принята равной 33 %. Относительную деформацию сжатия ε, вызываемую сжимающей нагрузкой P, вычисляли по формуле (3), а величину условного напряжения при заданной деформации – по формуле (4):

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{P}{S_0}, \quad (4)$$

где H_0 – высота образца до испытания, H_1 – высота образца после испытания, P – нагрузка сжатия, кгс, S_0 – первоначальная площадь поперечного сечения образца.

Для исключения существенного влияния повторных деформаций вводилась предварительная «тренировка»: сжатие одного образца производили три раза, принимая во внимание только третий результат.

Способность пакера сдерживать гидростатическое давление воды во многом зависит от упругих свойств эластомера, поэтому при испытании на сжатие более значимым является не напряжение деформирования, а показатель статического модуля упругости при сжатии, определяемый по формуле (5):

$$Ec = \frac{\sigma}{\varepsilon}. \quad (5)$$

С одной стороны высокие значения упругости эластомера могут сдерживать процесс его набухания, но с другой – необходимы для сдерживания гидростатического давления межпластовых вод, а также для сохранения от механических воздействий в процессе хранения, транспортировки или монтажа (табл. 9-10).

Таблица 9

Результаты изменения *Ec* образцов «Кварт»

температура термостатирования	Период термостатирования, сут						
	0	3	7	14	21	28	35
20	3,03						
75	3,03	3,292	3,3747	3,0987	3,107	3,42131	3,3559
100		3,947	4,0879	4,4785	5,217	5,54855	5,7189
125		5,586	5,5557	12,707	13,57	12,8623	15,442

Таблица 10

Результаты изменения *Ec* образцов зарубежного аналога

температура термостатирования	Период термостатирования, сут						
	0	3	7	14	21	28	35
20	1,324						
75	1,324	1,464	1,2193	1,3992	1,471	1,7069	1,7995
100		1,907	1,6919	2,4737	2,896	3,40538	3,9367
125		2,538	3,31	4,3639	4,509	4,71368	5,3913

Как видно из результатов испытаний, пределы деформирования образцов, при определении величины кратковременного статического сжатия, изменялись в пределах от 31 % до 34,5 %, т.е. наибольшая погрешность степени сжатия составила 6 %. При этом нагрузка, необходимая для деформирования импортных образцов до заданной степени сжатия, не превышала 140 кг, тогда как образцы «Кварт», термостатированные при температуре 125°С более 7 суток (168 часов), в процессе сжатия разрушались при нагрузках от 170 до 180 кг/см^2, деформируясь при этом на 15-17 %. Поэтому последние результаты испытаний не следует учитывать в сравнительном анализе двух видов эластомеров.

Из результатов испытаний видно, что статический модуль при сжатии, у образцов «Кварт» в среднем в 1,5-2 раза выше, чем у образцов зарубежного производства. Термостатирование при температурах 75°С и 100°С приводит к его увеличению, при этом интенсивность роста у образцов «Кварт» и аналога носит синхронный линейный характер. Наблюдается заметное увеличение статического модуля при сжатии у образцов «Кварт» после 7 суток термостатирования при температуре 125°С. Однако учитывать его при обработке результатов нельзя, поскольку величина деформаций не соответствовала требованиям условий испытаний. Характерно, что данный «скачок» у образцов «Кварт» соответствует увеличению их твердости и стабилизации массы в процессе термостатирования при температуре 125°С.

Сравнительные ускоренные испытания образцов ВНП (Этап II)

Образцы для испытаний вырезались из исследуемых ВНП вместе с трубой в виде колец высотой 10 см. Испытания образцов производили в специальных устройствах (боксах), имитирующих работу ВНП в скважине.

Бокс представляет собой полый стальной цилиндр, имитирующий ствол скважины, высотой 15 см с внутренним диаметром 20 см. Цилиндр имеет внешнюю резьбу сверху и снизу. Снизу на цилиндр навинчивалось дно, внутрь его помещался образец ВНП, после чего сверху навинчивалась крышка, в которой имелось отверстие для доступа воды внутрь устройства.

Всего было подготовлено шесть образцов. Три образца вырезаны из ВНП зарубежного производства и три образца из ВНП производства «Кварт»

Для обеспечения стабильных режимов термостатирования образцов в воде при температурах 20°С, 65°С и 95°С использовались терморегуляторы с ртутным контактным датчиком типа ТРК, собранные в цепь с усилительным устройством УКТ-4 и нагревательным элементом по схеме, приведенной на рис. 1.

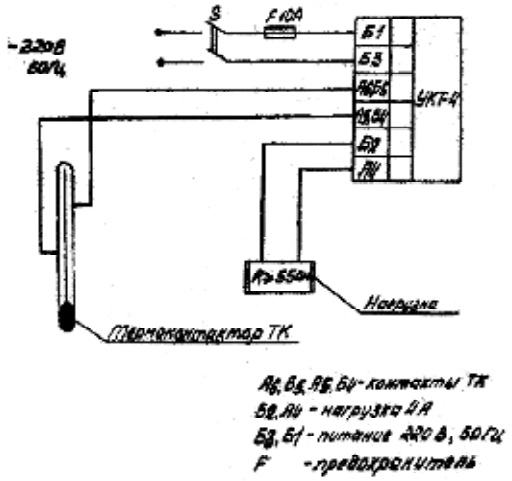


Рис. 1. Схема включения терморегулятора (инструкция по эксплуатации)

Величину напряжения, возникающую при выдавливании образцов ВНП из цилиндра, производили на универсальной электромеханической испытательной машине типа ИР-5082 с максимальной нагрузкой в 500 кг.

Наиболее вероятным местом протечки пластовой воды является участок, где эластомер контактирует со стенкой скважины. Поэтому обеспечение высоких напряжений, возникающих при набухании эластомера в воде, является необходимым условием его работы в скважине.

Вертикальная нагрузка P, приложенная к ВНП, имитирует давление пластовой воды. При этом на боковой поверхности эластомера возникают противоположные по направлению напряжения $\tau_{ВНП}$, величину которых можно определить по формуле (6):

$$\tau_{впп} = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot H} \cdot \qquad (6)$$

Следует предположить, что чем выше значения указанных напряжений, тем большее давление пластовой воды удерживает ВНП. Известны аналогичные способы испытаний пакеров, но имеющие более сложную конструкцию испытательного стенда [10]. Работами, проведенными ранее, было установлено, что зависимость между максимальным давлением пластовой воды, удерживаемой ВНП, и его длиной не носит линейного характера (Смирнов Д.С. Разработка методики оценки свойств и долговечности набухающей резины // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 4 (34). С. 287-292). Поэтому проводимые исследования не могут быть использованы для расчета максимальных давлений для испытуемых ВНП. Как видно из рис. 2, набухание эластомера происходит в замкнутом объеме.

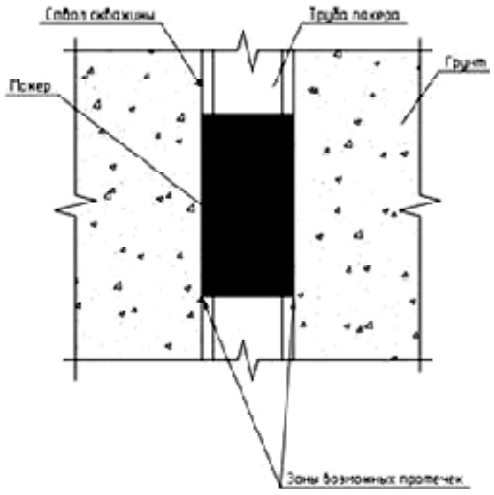


Рис. 2. Схема работы ВНП в скважине (иллюстрация авторов)

Образцы ВНП, находящиеся в боксах, после термостатирования в воде еще сутки выдерживали в помещении лаборатории, после чего крышка и дно бокса свинчивались, удалялись остатки воды, цилиндр с зафиксированным в нем образцом ВНП устанавливали на опорную обойму, а сверху, для равномерной передачи нагрузки, на образец укладывали пластину. Предполагается, что увеличение температуры термостатирования образцов ВНП в процессе испытаний ускоряет процесс диффузии воды в эластомер, имитируя тем самым реальные условия длительного нахождения пакера в воде, или воздействие на него гидростатического давления пластовых вод.

Результаты испытаний показали, что нагрузка необходимая для смещения образца ВНП относительно неподвижно зафиксированного цилиндра, после термостатирования при 20°С незначительна, и составляет для образцов Кварт менее 4,8 кг, а для образцов зарубежного производства – около 10,3 кг. Следует отметить резкий сброс нагрузки при испытании импортного образца с 10,3 кг до 4,9 кг при его перемещении всего на 1,16 мм, что говорит о возможном защемлении пластины в начале испытания. В дальнейшем снижение нагрузки имеет плавный характер, что объясняется уменьшением площади соприкосновения набухшего эластомера с внутренней поверхностью неподвижного цилиндра. Поэтому правильнее было бы принять значение смещающей нагрузки равной 4,9 кг.

При испытании образца ВНП «Кварт» термостатированного при 65°С смещение образца произошло при нагрузке 409,5 кг, при этом величина деформирования эластомера составила 2,45 мм. Образцы ВНП зарубежного аналога сместились при нагрузке 187,9 кг, величина деформирования эластомера при этом составила 9,53 мм.

Термостатирование образцов ВНП при 100°С увеличили напряжения эластомера в обоих образцах. Смещение образца ВНП «Кварт» произошло при нагрузке 459,8 кг после деформирования на 11 мм, тогда как смещение образца зарубежного образца произошло после деформирования на 4,2 мм при нагрузке 404,4 кг.

Что бы посмотреть, как сохраняются напряжения в ВНП, вызванные набуханием эластомера, после смещения образец возвращался в исходное положение и повторно испытывался. Очевидно, что повторная смещающая нагрузка при этом будет снижаться. При повторном нагружении образец смещается уже при 284 кг и абсолютной деформации 8,2 мм. Последующее значение смещающей нагрузки составило 202 кг, а абсолютная деформация также 8,2 мм. Видно, что интенсивность снижения нагрузки постепенно затухает. Так после повторного испытания она снизилась по отношению к первоначальному значению (404 кг) сразу на 30 %, а после второго – на 50 %. Полученные результаты говорят о сохранении упруго-эластичных свойств в эластомере, даже после смещения относительно цилиндра, имитирующего ствол скважины.

Заключение

Согласно полученным результатам наиболее значимые характеристики эластомера производства «Кварт», используемого для ВНП, такие как степень набухания и

напряжение сдвига в скважине под гидростатическим давлением пластовых вод, не уступают характеристикам импортного аналога.

ВНП с эластомером производства «Кварт» обладает более высокими показателями твердости, упругости и степенью набухания по сравнению с аналогом, в меньшей степени подвержен деструктивным процессам при термическом старении и лучше сохраняет свои свойства. Набухание эластомера в замкнутом объеме сопровождается большим ростом напряжений по сравнению с эластомером зарубежного производства, что обеспечивает лучшую изоляцию ствола скважины.

Ускоренное термическое старение образцов показало, что эластомер производства «Кварт» лучше сохраняет свои свойства по сравнению с импортным аналогом и, соответственно, имеет большую долговечность.

Эластомер может использоваться, в гидротехническом строительстве, а также для гидроизоляции швов на объектах промышленного гражданского и транспортного строительства.

Список библиографических ссылок

1. Насыров А. М., Масленников Е. Н., Нагуманов М. М. Технологические аспекты охраны окружающей среды в добыче нефти. Ижевск : ООО «Парацельс Принт», 2013. 288 с.
2. Гасанов А. П. Аварийно-восстановительные работы в нефтяных и газовых скважинах. М. : Недра, 1987. 181 с.
3. Дж. Хайн NonteChniCal Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling and ProduCtion. М. : Норман, 2019. 288 с.
4. Уразаков К. Р., Здольник С. Е., Нагуманов М. М. Справочник по добыче нефти. СПб. : ООО «Недра», 2012. 672 с.
5. UNCTAD, World Investment Report, 2007. Transnational Corporation, ExtraClive Indastries and Development. New York : United Nations, 2007. 294 с.
6. Oilfield ServiCes Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Trends, Analysis, Growth and ForeCast // transparencymarketresearch.com интернет-изд. 2014. URL: http://www.transparencymarketresearch.com/oilfield-services-market.html (дата обращения: 10.10.2019).
7. Смирнов Д. С. Метод оценки долговечности резины : программа 67 Всероссийской научной конференции КГАСУ по проблемам архитектуры и строительства / КГАСУ. Казань, 2015. С. 17.
8. Смирнов Д. С., Сулейманов А. М. Разработка методики и оценка долговечности водонабухающей резины для пакеров : тезисы докладов 68 всероссийской научной конференции по проблемам архитектуры и строительства / КГАСУ. Казань, 2016. С. 4.
9. Смирнов Д. С., Рахимов Р. З., Габидуллин М. Г., Каюмов Р. А., Стоянов О. В. Испытания и прогнозная оценка долговечности уплотнительной резины герметизирующих стыков блоков обделки метро // Вестник Казанского технологического университета. № 21. 2014. С. 17.
10. Аюпов Д. А., Макаров Д. Б. Теоретические аспекты расслаиваемости битумполимерных вяжущих // Вестник Казанского технологического университета. 2016. № 23. С. 50–53.

Suleymanov Alfred Midhatovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: sulejmanov@kgasu.ru
Smirnov Denis Sergeevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Lobanova Angelina Sergeevna
laboratory assistant
E-mail: lobangelina@icloud.com
JSC «QUART»
The organization address: 420054, Russia, Kazan, Technicheskaya st., 25

A method for evaluating the durability of swelling rubber for packers

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the development of the methodology and the conduct on its basis of comparative tests and assess the durability of foreign and Russian elastomer used for the production of packers.

Results. The main results of the study are to establish a regime for accelerated testing of water swellable packers (WSP) to determine the change in their properties during aging in a thermo-humid and stress-strain state. Factors of WSP aging in this methodology are: temperature, water and mechanical stress. Accelerated tests were carried out in two stages. The first stage includes accelerated testing of samples in air-dry conditions. The second stage includes bench tests in a water-saturated state.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry lies in the fact that the elastic properties of the elastomer affect the ability of the packer to contain the hydrostatic pressure of the interstratal water. In addition, the hardness, elasticity, and the value of the residual deformation of the elastomer contribute to its preservation in the event of mechanical stresses that may occur during its installation, delivery or storage. WSP with an elastomer manufactured by Kvart has higher hardness, elasticity and degree of swelling compared to its counterpart, it is less susceptible to destructive processes during thermal aging and retains its properties better, respectively, has a greater durability.

Keywords: water swellable packers (WSP), elastomer, hydrostatic pressure, thermal aging, durability.

References

1. Nasyrov A. M., Maslennikov E. N., Nagumanov M. M. Technological aspects of environmental protection in oil production. Izhevsk : LLC Paracelsus Print, 2013. 288 p.
2. Gasanov A. P. Emergency recovery work in oil and gas wells. M. : Nedra, 1987. 181 p.
3. Hein J. NonteChniCal Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling and ProduCtion. M. : Norman, 2019. 288 p.
4. Urazakov K. R., Zdolnik S. E., Nagumanov M. M. Handbook of oil production. SPb. : Nedra LLC, 2012. 672 p.
5. UNCTAD, World Investment Report, 2007. Transnational Corporation, ExtraClive Indastries and Development. New York : United Nations, 2007. 294 p.
6. Oilfield ServiCes Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Trends, Analysis, Growth and ForeCast // transparencymarketresearch.com online edition. 2014. URL: http: //www.transparencymarketresearch.com/oilfield-services-market.html (reference date: 10.10.2019).
7. Smirnov D. S. Method for evaluating rubber durability: program of the 67th All-Russian Scientific Conference of KSASU on problems of architecture and construction / KSASU, Kazan, 2015. P. 17.
8. Smirnov D. S., Suleymanov A. M. Development of a methodology and assessment of the durability of water-swelling rubber for packers: abstracts of the 68th All-Russian Scientific Conference on Problems of Architecture and Construction / KSASU. Kazan, 2016. P. 4.
9. Smirnov D. S., Rakhimov R. Z., Gabidullin M. G., Kayumov R. A., Stoyanov O. V. Tests and predictive evaluation of the durability of the sealing rubber of the sealing joints of the subway lining blocks // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. № 21. 2014. P. 17.
10. Ayupov D. A., Makarov D. B. Theoretical aspects of the delamination of bitumen-polymer binders // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016. № 23. P. 50–53.

УДК 691.311: 691.54: 666.952
Халиуллин Марат Ильсурович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: khaliullin@kgasu.ru
Димиева Алсу Ильясовна
аспирант
E-mail: a.dimieva@bk.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Файзрахманов Ильдар Идрисович
главный инженер проекта
E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com
ООО «Земельная агропромышленная корпорация»
Адрес организации: 119435, Россия, г. Москва, Савиновская наб., д. 23, стр. 1

Влияние добавок механоактивированных минеральных наполнителей на свойства композиционных гипсовых вяжущих

Аннотация

Постановка задачи. Целью настоящей работы явились исследования по определению влияния способа помола кварцевого и карбонатных наполнителей в шаровой мельнице и в электромассклассификаторе с интенсивной механоактивацией поверхности частиц наполнителей на эффективность их введения в состав композиционных гипсовых вяжущих.

Результаты. Установлено, что за счет эффекта механохимической активации поверхности частиц кварцевого наполнителя при его помоле в электромассклассификаторе до оптимальной удельной поверхности 500 $м^2$/кг при введении 5 % по массе молотой добавки в состав композиционных гипсовых вяжущих достигается повышение прочностных показателей на 15 % по сравнению с составами без введения добавки наполнителя. При введении добавки в количестве до 15 % по массе обеспечивается сохранение прочности и водостойкости на уровне контрольных образцов. По сравнению с введением аналогичного количества кварцевого наполнителя, размолотого в шаровой мельнице, достигается максимальное увеличение прочностных показателей на 10 %. При помоле карбонатных наполнителей в электромассклассификаторе по сравнению с помолом в шаровой мельнице происходит незначительное увеличение прочностных показателей вяжущего.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что установлена целесообразность применения электромассклассификатора при подготовке добавки кварцевого наполнителя, вводимого в состав композиционных гипсовых вяжущих.

Ключевые слова: композиционное гипсовое вяжущее, минеральные наполнители, механохимическая активация, гипсоцементнопуццолановая композиция, искусственный камень, водостойкость.

Введение

Одним из путей совершенствования производства вяжущих веществ является введение в их состав молотых минеральных добавок. В настоящее время имеется значительный опыт использования молотых минеральных добавок природного, искусственного и техногенного происхождения в производстве большинства разновидностей вяжущих веществ. Введение молотых минеральных добавок является одним из результативных технологических приемов, позволяющих обеспечить управление структурой и свойствами вяжущих веществ с повышением их экономической, экологической и технической эффективности [1-3]. Экономическая эффективность при введении молотых минеральных добавок в состав вяжущих достигается за счет увеличения объемов производства получаемых вяжущих композиций с одновременным снижением их себестоимости при уменьшении энергетических и

трудовых затрат на обжиг и помол обжиговой составляющей. Существенный экологический эффект обеспечивается благодаря снижению выбросов побочных продуктов, образующихся при обжиге исходных компонентов для получения вяжущих веществ (например, углекислого газа при производстве портландцемента), в результате замены части обжиговой составляющей вяжущих композиций на молотые минеральные добавки. Уменьшение экологической нагрузки на окружающую среду, объемов использования природных сырьевых ресурсов, происходит в случаях утилизации молотых отходов промышленности при их применении в качестве добавок в производстве вяжущих веществ.

Отечественными и зарубежными учеными выполнен значительный объем исследований в области получения и изучения физико-механических свойств гипсовых вяжущих с тонкодисперсными минеральными добавками: активными, образующими соединения, обладающие вяжущими свойствами (шлаками, золами, цеолитсодержащими породами, стеклобоем, перлитом, опокой, глауконитовым песком, вулканическим туфом, керамзитовой пылью, микрокремнеземом, и т. д.), и инертными наполнителями, не образующими такие соединения (кварцевым песком, известняком, доломитом отходами магнитной сепарации железных руд и т. д. [4-7]. Вместе с тем, результаты проведенных исследований показывают, что как активные, так и инертные минеральные добавки принимают участие в структурообразовании систем вяжущих.

Так, в работе [8] электронно-микроскопическим методом исследования показано, что минеральные наполнители способны оказывать влияние на формирование гипсовых кристаллов в процессе твердения гипсовых вяжущих. Выявлены различия в форме, ориентации, размерах и плотности нарастания кристаллов гипса, формирующихся на подложках, представляющих собой свежесколотые монокристаллы различных минералов (доломит, кальцит, гипс, кварц). Установлено, что плотность нарастания кристаллов гипса увеличивается в зависимости от вида минерала подложки в ряду кварц – доломит – кальцит – гипс, т.е. по мере возрастания кристаллохимического подобия наполнителя к гипсу. Таким образом, оптимально подобранные минеральные наполнители, выступая в качестве подложек для кристаллизации новообразованного гипса в процессе твердения, способствуют повышению плотности и прочности формирующегося гипсового камня.

В современных технологиях производства минеральных композиционных вяжущих веществ с повышенными физико-механическими показателями широкое использование получили методы, связанные с применением механохимической активации, основывающейся на изменении кристаллической структуры компонентов вяжущих систем, в частности, за счет увеличения концентрации поверхностных дефектов частиц вяжущего или минеральных добавок при механическом воздействии, например, при помоле [9].

А.В. Ферронской, В.Ф. Коровяковым и другими учеными, в результате дальнейшего развития ранее разработанных под руководством А.В. Волженского принципов получения гипсоцементнопуццолановых вяжущих (ГЦПВ), были получены водостойкие высокопрочные композиционные гипсовые вяжущие (КГВ). КГВ получают на основе гипсовых вяжущих с введением комплекса модифицирующих компонентов, которыми выступают портландцемент или известь, пуццоланически активные тонкодисперсные кремнеземсодержащие материалы (микрокремнезем, стеклобой, керамзитовая пыль, цеолитсодержащие породы, шлаки, золы и др.), пластификаторы и другие функциональные добавки, а также они могут содержать минеральные наполнители, подвергнутые механохимической обработке в помольном агрегате [10].

Ранее проведенные авторами исследования [8] показали, что с точки зрения повышения прочности КГВ при введении оптимального количества добавки минерального наполнителя, а также максимально возможного сокращения расхода обжиговой составляющей вяжущего без снижения прочностных показателей, карбонатные наполнители более эффективны по сравнению с молотым кварцевым песком, при этом для карбонатных наполнителей молотый известняк более эффективен, чем молотый доломит. Установлено, что карбонатные минералы – кальцит и доломит являются более предпочтительными в качестве подложек кристаллизации гипса, по сравнению с кварцем; кальцит в качестве минеральной подложки более эффективен, чем доломит, так как имеет большее кристаллохимическое подобие к гипсу, что

обусловливает формирование более плотных контактов между гипсом и кальцитовой минеральной подложкой.

Материалы и методы

КГВ получали на основе строительного гипса марки Г-5БII по ГОСТ 125 производства Волгоградского гипсового завода корпорации «Волма» при смешении с портландцементом производства АО «Мордовцемент» 500-Д0-Н по ГОСТ 10178; пуццолановым компонентом – термоактивированной по оптимальному режиму и размолотой до удельной поверхности 500 $м^2$/кг глиной Сарай-Чекурчинского месторождения [11], химический, минеральный и гранулометрический состав которой в исходном состоянии представлен в табл. 1-3 соответственно; добавкой пластификатора в порошкообразном состоянии; минерального наполнителя.

Таблица 1

Химический состав глины Сарай-Чекурчинского месторождения (содержание в % по массе)

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3/S	ппп
68,52	0,86	13,42	6,18	0,10	1,33	1,66	1,20	1,82	0,09	<0,05	4,62

Таблица 2

Минералогический состав глины Сарай-Чекурчинского месторождения (содержание в % по массе)

Кварц	Слюда	Ортоклаз	Плагиоклаз	Смешанно-слоистый глинистый минерал*	Хлорид
28	10	7	8	40	4

*смешанно-слоистый минерал содержит до 40 % неразбухающих слоев.

Таблица 3

Гранулометрический состав глины Сарай-Чекурчинского месторождения (содержание в % по массе)

менее 0,005 мм (глинистая)	0,005-0,05 мм (пылеватая)	0,05-1,0 мм (песчаная)
49,5	37,1	13,4

Подбор состава гипсоцементнопуццолановой композиции осуществлялся по методике, разработанной в МИСИ им. В.В. Куйбышева [10].

В качестве пластификатора использовалась добавка Melflux 2651 F на поликарбоксилатной основе (производитель BASF Constraction Polymers) в количестве 0,8 % от массы вяжущего [11].

В качестве минеральных наполнителей, вводимых в состав КГВ использовались молотые кварцевый песок Васильевского месторождения, карбонатные породы: известняк Альдермышского месторождения и доломит Бимского месторождения химические составы которых представлены соответственно в табл. 4, 5.

Таблица 4

Химический состав кварцевого песка Васильевского месторождения

№ пробы	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	R_2O	п.п.п.
1	95,52	3,13	0,4	0,10	0,05	0,04	0,55

Таблица 5

Химический состав карбонатных пород

№ пробы	Наименование породы	Месторождение	CaO	MgO	SO_3	п.п.п.	н.о.
1	Известняк	Альдермышское	49,74	1,86	1,23	42,15	3,46
2	Доломит	Бимское	30,01	20,09	0,44	46,49	0,47

Согласно результатам испытаний по ГОСТ 8735 исходный кварцевый песок имеет модуль крупности 1,01; содержание пылевидных и глинистых частиц 2,8 %; содержание органических примесей в норме.

Предварительно высушенные кварцевый песок и карбонатные породы размалывались до удельных поверхностей 90, 300, 500 м^2/кг.

Кварцевый песок размалывался в исходном виде и после промывки в гидроклассификаторе 1КСП-12, обеспечивающей удаление пылевидных и глинистых частиц.

Для помола наполнителей использовались лабораторная шаровая мельница марки 40-МЛ и электромассклассификатор МС-ЭМК-050М производства ООО «Фирма «Полипром».

Лабораторная шаровая мельница марки 40-МЛ имеет скорость вращения 60 об/мин. Масса мелющих тел, загружаемых в мельницу, составляла 12 кг. Соотношение между массой измельчаемого материала и мелющей загрузкой (стальные шары) 1:8.

Электромассклассификатор МС-ЭМК-050М работает по принципу центробежной мельницы, где происходит совмещение операций измельчения, классификации частиц по размерам, дезагрегации, механоактивации поверхности частиц. Создание жестких условий образования газопылевых потоков в замкнутом пространстве при воздействии электростатических сил способствует более интенсивной механоактивации поверхности измельчаемых частиц, по сравнению с процессом измельчения в шаровых мельницах [12].

Испытания КГВ выполнялись по ГОСТ 23789. После изготовления образцы искусственного камня 28 суток хранились в камере нормального твердения и перед проведением испытаний подвергались сушке при 55 ^{0}С до постоянной массы.

Результаты и обсуждение результатов

На рис. 1 представлены результаты исследований влияния дисперсности измельченных в шаровой мельнице кварцевого наполнителя (при содержании в составе КГВ – 5 % по массе) и известнякового наполнителя (при содержании в составе КГВ – 10 % по массе) на прочность при сжатии искусственного камня.

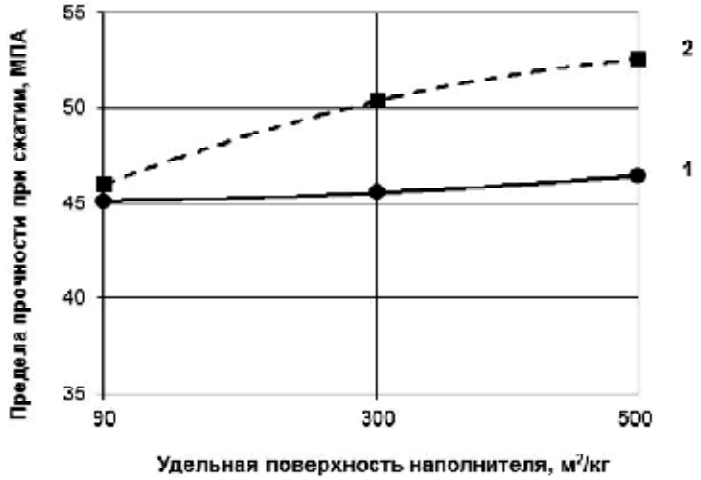


Рис. 1. Влияние дисперсности минеральных наполнителей, измельченных в шаровой мельнице, на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ:
1 – кварцевый наполнитель, введенный в количестве 5 % по массе, из промытого песка (-●-);
2 – известняковый наполнитель, введенный в количестве 10 % по массе (-■-)
(иллюстрация авторов)

Представленные результаты показывают, что наибольшая прочность достигается при введении наполнителей, размолотых до удельной поверхности 500 м^2/кг. Кварцевый наполнитель получали помолом песка после его промывки.

На следующем этапе работы карбонатные и кварцевый наполнители размалывались до удельной поверхности 500 м^2/кг в шаровой мельнице и в электромассклассификаторе и вводились в состав КГВ в количестве до 25 % по массе.

На рис. 2 приведены результаты исследований влияния введения кварцевого наполнителя размолотого до удельной поверхности 500 м^2/кг в различных помольных агрегатах на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ.

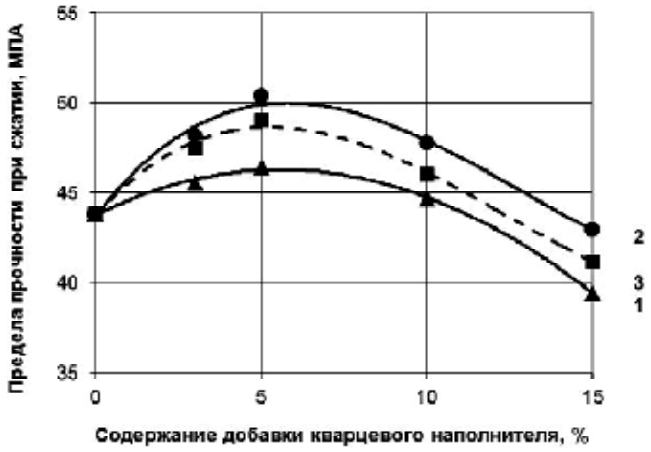


Рис. 2. Влияние вида помольного агрегата и содержания кварцевого наполнителя (при удельной поверхности 500 м^2/кг) на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ:
1 – кварцевый наполнитель из промытого песка, измельченного в шаровой мельнице (-▲-);
2 – кварцевый наполнитель из промытого песка, измельченного в электромассклассификаторе (-●-);
3 – кварцевый наполнитель из непромытого песка (содержание пылевидных и глинистых частиц 2,8 % по массе), измельченный в электромассклассификаторе (-■-) (иллюстрация авторов)

Анализ представленных данных показывает, что наиболее эффективным является введение добавки промытого кварцевого наполнителя, подвергнутого измельчению и дополнительной механохимической активации в электромассклассификаторе, в количестве 5 % от массы вяжущего. При этом прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ повышается на 12-15 % по сравнению с контрольными образцами без введения наполнителя. При введении до 15 % по массе кварцевого наполнителя молотого в электромассклассификаторе, прочность при сжатии искусственного камня сохраняется на уровне контрольных образцов. Коэффициент размягчения гипсового камня несколько снижается с 0,72 до 0,70-0,69, оставаясь на уровне показателей, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к гипсовым вяжущим повышенной водостойкости ($К_р$>0,65) [10]. При введении в составе КГВ до 15 % по массе измельченного и дополнительно механохимически активированного в электромассклассификаторе кварцевого наполнителя по сравнению с введением аналогичного количества кварцевого наполнителя, размолотого в шаровой мельнице, достигается максимальное увеличение прочностных показателей на 10 %. Наличие пылевидных и глинистых частиц в количестве 2,8 % по массе в составе кварцевого наполнителя приводит к некоторому снижению прочности при сжатии искусственного камня на основе КГВ.

Повышение прочностных показателей искусственного камня на основе КГВ при введении измельченного и дополнительно механохимически активированного в электромассклассификаторе кварцевого наполнителя по сравнению с его измельчением в шаровой мельнице может быть связано с более высокими значениями поверхностной энергии частиц наполнителя и более эффективным выполнением им структурообразующих функций на уровне физико-химических взаимодействий, в том числе в качестве минеральных подложек для кристаллизации гипса, образующегося в процессе твердения КГВ [8].

На рис. 3 приведены результаты исследований изменения прочности при сжатии КГВ при введении карбонатных (известнякового и доломитового) наполнителей, размолотых до удельной поверхностью 500 м^2/кг в шаровой мельнице и электромассклассификаторе.

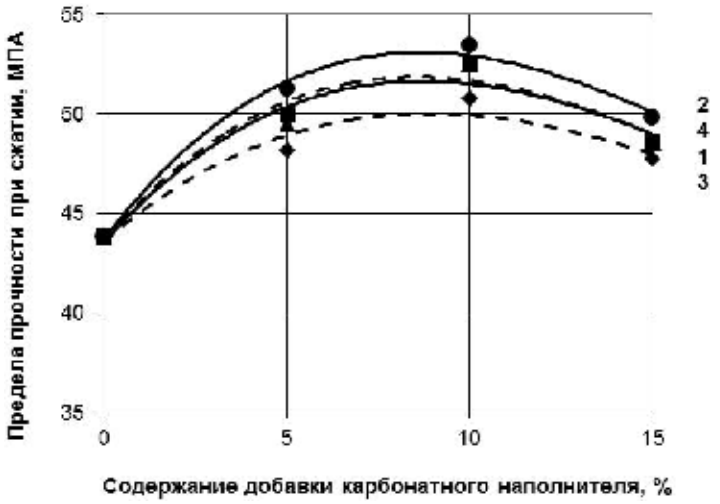


Рис. 3. Влияние вида помольного агрегата, количества и вида добавки карбонатных наполнителей (удельная поверхность 500 м^2/кг) на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ:
1 – известняковый наполнитель, измельченный в шаровой мельнице (-●-);
2 – известняковый наполнитель, измельченный в электромассклассификаторе (-▲-);
3 – доломитовый наполнитель, измельченный в шаровой мельнице (-♦-);
4 – доломитовый наполнитель, измельченный в электромассклассификаторе (-■-)
(иллюстрация авторов)

Представленные результаты показывают, что при использовании электромассклассификатора для помола карбонатных наполнителей, введенных в состав КГВ количестве до 25 % по массе, происходит незначительное увеличение прочностных показателей по сравнению с введением карбонатного наполнителя, размолотого в шаровой мельнице.

Заключение

Введение в состав КГВ кварцевого наполнителя, подвергнутого измельчению и дополнительной механохимической активации в электромассклассификаторе до оптимальной удельной поверхности 500 м^2/кг, более эффективно по сравнению с введением аналогичного количества кварцевого наполнителя, размолотого в шаровой мельнице. При оптимальном содержании молотого в электромассклассификаторе кварцевого наполнителя в количестве 5 % от массы вяжущего, прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ повышается на 15 % по сравнению с контрольными образцами без введения наполнителя, при введении до 15 % по массе кварцевого наполнителя, расход обжиговой части вяжущего снижается без уменьшения прочности и водостойкости по сравнению с контрольными образцами. При этом по сравнению с введением аналогичного количества кварцевого наполнителя, размолотого в шаровой мельнице, достигается максимальное увеличение прочностных показателей на 10 %.

Использование электромассклассификатора для помола карбонатных наполнителей менее эффективно, так как по сравнению с введением карбонатного наполнителя, размолотого в шаровой мельнице, происходит незначительное увеличение прочностных показателей.

Таким образом, целесообразным является применение электромассклассификатора при подготовке добавки кварцевого наполнителя в состав КГВ для его помола до требуемой удельной поверхности и дополнительной механохимической активации.

Список библиографических ссылок

1. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z., Gaifullin A. R., Morozov V. P., Potapova L. I., Gubaidullina A. M., Osin Y. N. Marl-based geopolymers incorporated with limestone: A feasibility study // Journal of Non-Crystalline Solids. 2018. B. 492. P. 1–10.

2. Zhang S., Lu D., Xu Z. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars: proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement / Beijing. China, 2015. P. 318.
3. Nocun-Wczelik W., Szybilski M., Zugaj E. Hydration of Portland cement with Dolomite: proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement / Beijing. China, 2015. P. 320.
4. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Lukmanova L. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cementpozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106. P. 03012.
5. Tokarev Y., Ginchitsky E., Sychugov S., Krutikov V., Yakovlev G., Buryanov A., Senkov S. Modern Building Materials, Structures and Techniques // Procedia Engineering 12. 2017. B. 172. P. 1161–1168.
6. Морозова Н. Н., Кузнецова Г. В., Майсурадзе Н. В., Ахтариев Р. Р., Абдрашитова Л. Р., Низамутдинова Э. Р. Исследование активности пуццоланового компонента и суперпластификатора для гипсоцементно-пуццоланового вяжущего белого цвета // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 26–30.
7. Новиченкова Т. Б., Петропавловская В. Б., Завадько М. Ю., Бурьянов А. Ф., Пустовгар А. П., Петропавловский К. С. Применение пылевидных отходов базальтового производства в качестве наполнителя гипсовых композиций // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 9–13.
8. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z. Researches of the mechanism of influence of mineral and chemical additives on the process of anhydrite binding hardening : proc. of a XII International Congress of the chemistry of cement / Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». Madrid, 2011. P. 203.
9. Кузьмина В. П. Механохимия в бетоне. М. : АСВ, 2013. 414 с.
10. Ферронская А. В. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). М. : АСВ, 2004. 488 с.
11. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z. Faizrakhmanov I. I. The influence of thermally activated clay additives on the properties of composite gypsum binder // ZKG International. 2017. № 5. P. 58–63.
12. Зырянов В. В., Зырянов Д. В., Садыков В. А. Создание покрытий методом нанесения заряженных аэрозолей // Российские нанотехнологии. 2008. Т. 3. № 5-6. С. 118–126.

Khaliullin Marat Ilsurovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: khaliullin@kgasu.ru
Dimieva Alsu Ilyasovna
post-graduate student
E-mail: a.dimieva@bk.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Faizrakhmanov Ildar Idrisovich
chief project engineer
E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com
LLC «Zemelnaya agropromyshlennaya corporaciya»
The organization address: 119435, Russia, Moscow, Savinovskaya nab., 23, b. 1

The influence of addition of mechanically activated mineral fillers on properties of composite gypsum binders

Abstract

Problem statement. The purpose of this work was to study the influence of the method of grinding quartz and carbonate fillers in a ball mill and in an electro-mass classifier with intensive mechanical activation of the surface of the filler particles on the efficiency of their introduction into the composition of composite gypsum binders.

Results. It was found that due to the effect of mechanochemical activation of the surface of the particles of quartz filler when grinding in an electromassifier to an optimal specific surface of 500 m^2/kg with the introduction of 5 % by weight of ground additives in the composition of composite gypsum binders 15 % increase in strength indicators is achieved compared to compositions without the introduction of filler additives. With the introduction of additives in an amount of up to 15 % by weight, the strength and water resistance are maintained at the level of control samples. Compared with the introduction of a similar amount of quartz filler, milled in a ball mill, a maximum increase in strength indicators by 10% is achieved. When grinding carbonate fillers in an electric mass classifier compared to grinding in a ball mill, there is a slight increase in the strength of the binder.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry lies in the fact that the expediency of the use of electro-mass classifier in the preparation of additives quartz filler, introduced into the composition of composite gypsum binders.

Keywords: composite gypsum binder, mineral filler, mechanochemical activation, gypum-scement-pozzolanic composition, artificial stone, water resistance.

References

1. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z., Gaifullin A. R., Morozov V. P., Potapova L. I., Gubaidullina A. M., Osin Y. N. Marl-based geopolymers incorporated with limestone: A feasibility study // Journal of Non-Crystalline Solids. 2018. T. 492. P. 1–10.
2. Zhang S., Lu D., Xu Z. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars: proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement / Beijing. China, 2015. P. 318.
3. Nocun-Wczelik W., Szybilski M., Zugaj E. Hydration of Portland cement with Dolomite : proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement / Beijing. China, 2015. P. 320.
4. Mukhametrakhimov R. K., Galautdinov A. R. Set-retarding plasticizers for improving the effectiveness of gypsum-cement-pozzolan binders // ZKG International. 2018. № 11. P. 52–57.
5. Tokarev Y., Ginchitsky E., Sychugov S., Krutikov V., Yakovlev G., Buryanov A., Senkov S. Modern Building Materials, Structures and Techniques // Procedia Engineering 12. 2017. B. 172. P. 1161–1168.
6. Morozova N. N., Kuznetsova G. V., Maysuradze N. V., Akhtariev R. R., Abdrashitova L. R., Nizamutdinova E. R. Research in the activity of a pozzolanic component and superplasticizer for gypsum cement pozzolanic binder of white colour // Stroitelnye materialy. 2018. № 8. P. 26–30.
7. Novichenkova T. B., Petropavlovskaya V. B., Zavadko M. Yu., Buryanov A. F., Pustovgar A. P., Petropavlovskii K. S. The use of dusty wastes of basalt production as a filler for gypsum compositions // Stroitelnye materialy. 2018. № 8. P. 9–13.
8. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z. Researches of the mechanism of influ-ence of mineral and chemical additives on the process of anhydrite binding hardening : proc. of a XII International Congress of the chemistry of cement / Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». Madrid, 2011. P. 203.
9. Kuzmina V. P. Mechanical chemistry in concrete. M. : ASV, 2013. 414 p.
10. Ferronskaja A. V. Gypsum materials and products (production and application). Reference book. M. : ASV, 2004. 488 p.
11. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z. Faizrakhmanov I. I. The influence of thermally activated clay additives on the properties of composite gypsum binder // ZKG International. 2017. № 5. P. 58–63.
12. Zyryanov V. V., Zyryanov D. V., Sadykov V. A. Fabrication of films by charge aerosol deposition method // Rossiiskie nanotehnologii. 2008. B. 3. № 5-6. P. 118–126.

УДК 691.33
Шелихов Николай Сергеевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: shelihov@kgasu.ru
Сагдиев Руслан Рустемович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: ruslan-kgasu@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Тимиргалеев Марат Марсович
инженер
marat14041994@mail.ru
ООО «ДД-Арт» Мастери СМР
Адрес организации: 420075, Россия, г. Казань, ул. Липатова, д. 7

Разработка метода оценки долговечности строительных материалов в агрессивных средах

Аннотация

Постановка задачи. Целью настоящей работы является создание метода оценки долговечности бетонов в агрессивной среде, и повышение срока службы за счет использования гидравлических добавок в виде термоактивированных глин.

Результаты. Установлено, что используя добавки термоактивированной глины, можно в определенных пределах повышать прочность цемента. Сделанное предположение, что термоактивированная глина способна повысить сопротивление бетонов в сульфатной среде, было подтверждено.

Результаты исследований позволили предложить метод расчета долговечности бетонов, эксплуатирующихся в сульфатной среде.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что анализ полученных результатов дает возможность предложить алгоритм оценки долговечности бетонов в сульфатной среде, дополняющий существующие методы.

Ключевые слова: добавки, прочность и стойкость бетонов к агрессии, термоактивированные глины.

Ведение

Применение искусственных сырьевых смесей для получения вяжущих, позволяет использовать сырье практически любого состава. На основе расчета и составления сырьевой смеси можно нивелировать непостоянство химического состава сырья. Многие исследования по модификации вяжущих веществ в настоящее время [1-6] использовали в качестве предмета исследования искусственные смеси.

Глинистое сырье для получения гидравлических вяжущих в научной и технической литературе не выделяется и требования к нему отсутствуют. На определенном этапе исследований можно использовать требования к химическому составу глинистых пород для производства портландцемента с учетом поправок в дальнейшем [7]. Состав глин, используемых в работе, представлен в табл. 1.

Активирование глины

Для выявления влияния на процесс коррозии активирующих веществ в качестве активирующей добавки выбрана глина Сарай-чекурчинского месторождения РТ, табл. 1.

Таблица 1

	Месторождение	SiO_2	Al_2O_3	F_2O_3	CaO	H_2O	сумма
1	Сарай-чекурчинская	68,52	13,42	6,18	1,33	3,41	99,8

Ранее было установлено [4], что введение в цемент термоактивированной глины этого месторождения способствует повышению стойкости цемента и цементного бетона к сульфатной коррозии

Термически активированные глины по европейскому стандарту EN-197-1-2000 классифицируются как искусственные пуццоланы.

Приготовление вяжущего

Для определения степени активности обожженных глин в качестве индикатора прочности и стойкости к сульфатной коррозии использовался портландцемент мордовского завода ЦЕМ I 32,5 Н (ПЦ400 Д-0-Н). Химический состав цемента: масс, %: CaO – 63,0; SiO_2 – 20,5; $A1_2O_3$ – 4,5; Pe_2O_3 – 4,5; SO_3 – 3,0. Минералогический состав цемента: %: C_3S – 67,0; C_2S – 11,0; C_3A – 4,0; C_4AF – 15,0.

Для исследования были приняты следующие составы:

Цемент М400, В/Ц=0,4, добавка 0 %, НГ=26 % № 1;

Цемент М400, В/Ц=0,4, добавка 5 %, НГ=27 % № 2;

Цемент М400, В/Ц=0,4, добавка 10 %, НГ=28 % № 3;

Цемент М400, В/Ц=0,4, добавка 15 %, НГ=28 % № 4;

Цемент М400, В/Ц=0,4, добавка 20 %, НГ=29 % № 5.

Из приведенных составов формовались образцы 2×2×2 $см^3$.

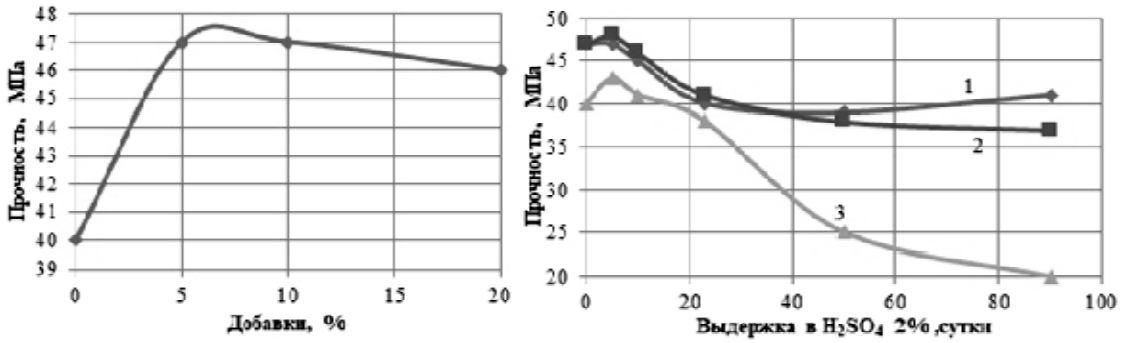
Образцы сутки выдерживались в формах, после чего подвергались температурно-влажностной обработке (пропариванию) по режиму: 4 часа подогрев, 6 часов пропаривание при Т=85 ^{0}С, 4 часа остывание.

Процесс осуществлялся в пропарочной камере.

Прочностные испытания

Влияние активированных глин на прочность цемента определялось по результатам испытаний образцов с разным содержанием добавки на сжатие.

Составы с содержанием активированной глины 0 %; 5 %, 10 % и 20 % формовались при одинаковой подвижности на вибростоле. Испытание на сжатие проводилось на маятниковом прессе в возрасте 28 суток нормального твердения. Определено влияние активированной глины на прочность цементного камня. Как следует из графика (рис. 1а) в интервале добавок 5-10 % прочность цементного камня максимальная.



а) б)

Рис. 1. Влияние добавок активированных глин на прочность цемента (иллюстрация авторов): 1-10 % добавки; 2-5 % добавки; 3-0 % добавки

По сравнению с марочной прочностью при введении добавок она (прочность) увеличилась на 17,5 %. Рост прочности, очевидно, произошел в результате вторичных пуццоланических реакций добавки – известь.

Коррозионные испытания

Образцы из портландцемента мордовского завода с содержанием C_3A 6 % испытывались в растворе серной кислоты с концентрацией иона SO_4^{-2} 2000 мг/л и 10000 мг/л; образцы выдерживались в эксикаторе, среда менялась 1 раз в неделю [8].

Образцы изготавливались из теста нормальной густоты (в состав теста входила молотая добавка). Для бездобавочного цемента нормальная густота составила 26 %, с 5 % добавкой – 27 %, с 10 % добавкой – 28 %, с 20 % добавок – 30 %. Добавки водились в портландцемент в количестве 5, 10, 15 и 20 %.

На рис. 1б проведены результаты исследования долговечности цементного камня в жидкой сульфатной среде с содержанием ионов SO_4^{-2} до 2000 мг/л. Для выявления влияния на процесс коррозии активирующих веществ в качестве активированной добавки выбрана термообработанная глина, табл. 1.

На рис. 2 представлены зависимости прочности цементного камня от времени нахождений в сульфатной среде.

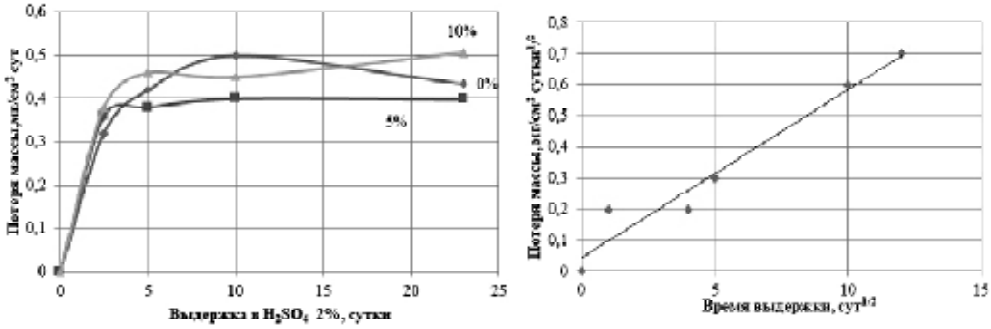


Рис. 2. Потеря массы цементного камня (иллюстрация авторов)

Образцы в сульфатной коррозионной среде выдерживались 90 суток. В процессе определялась прочность, потеря массы, состав продуктов коррозии. Проведенные исследования показали, что под действием 5 %-го раствора H_2SO_4 и 10 % раствора H_2SO_4 в начальные сроки экспонирования для всех исследуемых составов наблюдается повышение прочности. Причем время, при котором фиксировалось наибольшее значение прочностных характеристик в зависимости от степени наполнения, практически не меняется.

Повышение прочности в начальный период свидетельствует о высокой скорости коррозии. Начиная с 20-х суток прочность снижается, а при отсутствии активированной глины при нахождении в коррозионной среде (2 %-м растворе H_2SO_4) это снижение к 90 суткам, относительно первоначальной прочности, значительно. Это свидетельствует о влиянии активированной глины на процесс коррозии.

Все коррозионные кривые однотипные. С максимумом в районе времени выдержки 5 суток и с дальнейшим монотонным снижением прочности.

Падение прочности может стабилизироваться, а при содержании более 5 % добавки активированной глины – прочность даже растет (кривая 1).

Похожие формы кривых говорят о едином механизме коррозии цементного камня в сульфатной среде. На первом этапе повышение прочности; на втором – стабилизация и на третьем – монотонное снижение. Все этапы согласуются и с потерей массы образцов цементного камня (рис. 2) при соответствующих выдержках в сульфатной среде.

По мнению авторов, первоначальное повышение прочности связано с уплотнением поровой структуры цементного камня продуктами реакции, то есть своеобразная кольматация. Кольматирующий эффект проявляется и при вторичных пуццоланических реакциях между активированной глиной и продуктами гидратации клинкерных минералов.

Для определения характеристик коррозионного сульфатного процесса был проведен рентгеноструктурный анализ продуктов коррозионного разрушения.

Анализ образца цементного камня с 10 % минеральной добавкой на основе термоактивированной глины, выдержанного в течение 28 суток в 2 % растворе серной кислоты, показал, что большая часть дифракционных максимумов с наибольшей интенсивностью относится к сульфатам кальция. Образуются и карбонаты. Имеет место переход образовавшегося гидромоносульфоалюмината кальция ($3CaOAl_2O_3CaSO_4(11\text{-}12)H_2O$) на поверхности частиц извести в гидромонокарбоалюминаты кальция ($3CaOAl_2O_3CaCO_3(11\text{-}12)H_2O$), которые характеризуются дифракционными максимумами с межплоскостными тояниями d=(4,267; 4,167; 3,661; 3,521; 3,117; 2,653)·Å [9].

Количество извести достаточно, чтобы весь гидроалюминат ($3CaOAl_2O_3H_2O$) превратился в гидромонокарбоалюминат кальция, тем самым замедлив процесс коррозии. В составе цементного камня наблюдается эттрингита. Дифракционные максимумы (0), (1) с межплоскостными расстояниями соответствуют гидроалюмосиликатам кальция, содержание которых меньше, чем в контрольном образце, что говорит о замедлении коррозии. Определенное количество клинкерных минералов, как в составе контрольного образца, остается негидратированными, о чем свидетельствуют дифракционные максимумы.

Ввиду неравномерности коррозии по глубине и по площади поражения не плохой оценкой коррозии III вида является потеря массы. На рис. 2 представлены результаты реализации корозионного процесса на первых этапах.

До 10 суток процесс потери массы идет довольно интенсивно, а в дальнейшем стабилизируется. Наблюдается как бы латентный период. Такая картина соответствует послойному разрушению, показанному выше.

Поменяв координаты, зависимость потери массы от времени нахождения в коррозионной среде можно представить в виде прямой линии, что удобно для прогнозирования.

Долговечность по потере массы

Скорость сульфатной коррозии различна для отдельных периодов коррозии. Начальный период коррозии, протекающий за счет диффузии агрессивных веществ к фронту коррозии, называется диффузионный период. Диффузионный период, период с наибольшим переносом массы коррозирующих веществ.

Для прогнозирования степени разрушения бетона в диффузионный период, чаще всего используется зависимость, разработанная для коррозии первого и второго видов. Рядом работ установлено, что диффузионный период присутствует [9] и в коррозионном процессе III вида. Отличие только в скорости. Зависимость имеет вид:

$$h_t = \left(\text{k}\sqrt{t} - \text{a} \right)/\text{ЦХ}_{CaO}, \quad (1)$$

где k – тангенс угла наклона кривых коррозии в диффузионный период к горизонтальной оси, рассчитывается при построении кривых; t – время, прогноза глубины разрушения, суток; a – коэффициент; Ц – расход цемента в бетоне, кг/м^3; X_{CaO} – содержание CaO в цементе (по результатам химического анализа), %;

$$\text{a}=\text{к}\sqrt{t} - \text{X}_{\text{CaO}}. \quad (2)$$

Приведем расчет долговечности бетона в условиях сульфатной коррозии.

1) Для ускорения процесса прогнозирования долговечности можно предложить метод высокой концентрации. Суть метода – это испытания бетона в лабораторной среде с более интенсивным процессом коррозионного взаимодействия между средой и бетоном. По ускоренным испытаниям в сульфатной среде высокой концентрации можно прогнозировать долговечность по деградации бетона в реальном и лабораторном процессах.

2) По ускоренным испытаниям в сульфатной среде высокой концентрации можно рассчитать количество сульфатов, накопившихся в образцах для данной концентрации агрессивной среды по формуле:

$$\sum P_{SO_3} = \sqrt{\frac{C}{C_0}} Po_{so_3}, \quad (3)$$

где Po_{SO3} – количество сульфатов, накопившихся в образцах за время испытаний в сульфатной среде заданной концентрации, % массы цемента; C_0 и C – экспериментальная концентрация сульфатной агрессивной среды и фактическая концентрация сульфатной среды, для которой необходимо выполнить прогноз разрушения бетона, моль/л.

3) Количество сульфатов Q, которое вызывает разрушение бетона в зависимости от типа цемента, принимается по табл. 2 [10].

Таблица 2

Тип цемента	Количество сульфатов, % массы цемента, вызывающее разрушение цемента по SO_3
Портландцемент (СзА не более 5 %)	12
Среднеалюминатный портландцемент (СзА не более 7 %)	9
Высокоалюминатный портландцемент (C_3A более 7 %)	6

4) Строим зависимость потери массы бетона (рис. 3) при выдержке в коррозионной среде за выделенный период и определяем тангенс угла наклона аппроксимирующей кривой tgα=0,4.

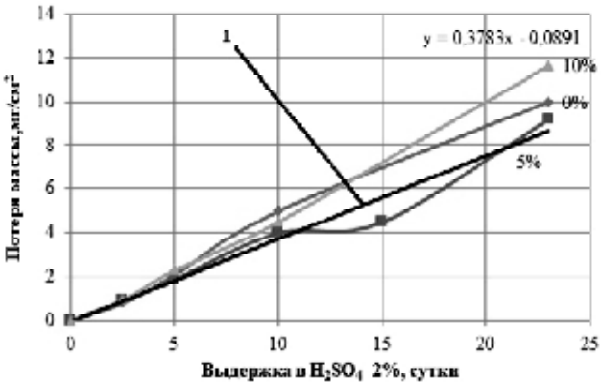


Рис. 3. Процесс накопления сульфатов при сульфатной коррозии (иллюстрация авторов):
1 – обобщающая кривая

Образцы бетона из портландцемента мордовского завода с содержанием C_3A до 6% испытывались в растворе серной кислоты с концентрацией ионов SO^{-2}_4 10000 мг/л; Количество накопившихся в образцах сульфатов составляет (рис. 3) от массы цемента в образцах по формуле (4):

$$Po_{so3}=tg\alpha/m\cdot 100\ \%, \quad (4)$$

m – масса цемента в образцах;

$Po_{so3} = tg\alpha/m\cdot 100\ \% = 0{,}4/10\cdot 100=4$.

Рассчитаем срок разрушения бетона в сульфатной среде с концентрацией иона SO^{-2}_4 – 2000 мг/л.

Концентрация раствора с содержанием иона SO^{-2}_4 – 10000 мг/л составляет 0,104 моль/л,

Концентрация раствора с содержанием иона SO^{-2}_4 – 2000 мг/л составляет 0,0208 моль/л.

По формуле (3) определяем количество сульфатов, которое может накопиться в бетоне при концентрации иона SO^{-2}_4 – 2000 мг/л:

$$\Sigma Pso_3 = 4\cdot[0{,}0208/0{,}104]^{1/2} = 1{,}795.$$

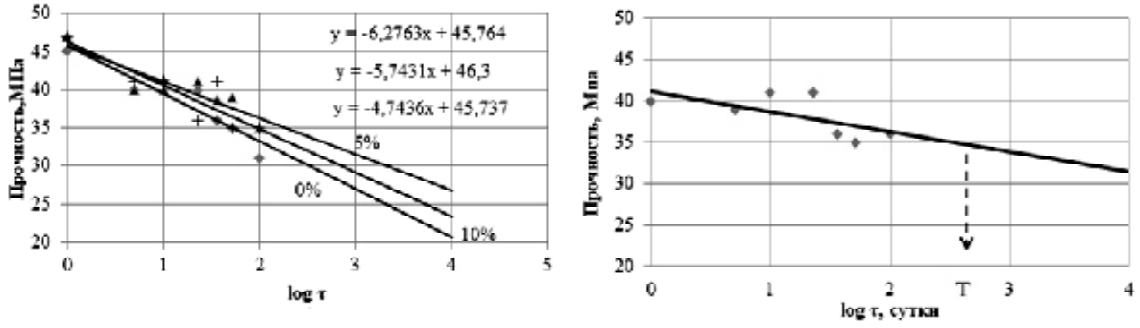
И долговечность бетона определим выражением:

$$\tau_0 = [\frac{Q}{\sum Pso_3}]2\cdot\tau \quad (5)$$

τ_o = (9/1,79) (9/1,79) ·) 0,51 = 25,28·0,51 = 6,57 лет.

Долговечность по прочности

При прогнозировании по потере прочности удобно использовать графические построения в полулогарифмических координатах, рис. 4.



а) б)

Рис. 4. Прогнозирование по прочности (иллюстрация авторов)

Прогнозирование по прочности предлагается проводить по следующим этапам:

– проводится эксперимент по реализации коррозионного процесса III вида (рис. 4а);

– строится график (рис. 4б) в координатах «потеря прочности-время$^{-1/2}$» и определяются полулогарифмические характеристики. Учитывая критическое падение прочности 15 %, проводится линия параллельная оси времен до пересечения с линиями графика, (рис. 4б). Сноски точек пересечения на временную ось дадут величину долговечности.

Сноска времени до недопустимой потери прочности в коррозионной среде:

$$Lg\tau = 3{,}3 \text{ Отсюда } \tau = 10^{3{,}3} = 1995 \text{ суток} = 5{,}46 \text{ лет.}$$

Если при испытании цементов на образцах цементного камня, погруженных в агрессивный раствор, прочность не отклоняется более чем на 15 %, делается заключение о возможности использования цемента как сульфатостойкого.

При отклонении указанных показателей испытуемых образцов от показателей эталонных образцов больше чем на 15 % испытуемый цемент оценивается как несульфатостойкий.

Заключение

Установлено, что добавка, полученная из местной термоактивированной глины, способна повысить сопротивление бетонов в сульфатной среде. Анализ полученных результатов дает возможность предложить алгоритм оценки долговечности бетонов в сульфатной среде, дополняющий существующие методы.

Список библиографических ссылок

1. Sagdiev R. R., Shelihov N. S., Rahimov R. Z. Low-firing binders from magnesium containing carbonate raw materials // Inorganic Materials. 2016. № 11. P. 1172–1178.
2. Шелихов Н. С., Сагдиев Р. Р., Рахимов Р. З., Стоянов О. В. Влияние минеральных добавок на свойства гидравлических вяжущих низкотемпературного обжига // Вестник Технологического университета. 2016. № 5. С. 93–96.
3. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р., Стоянов О. В. Глинит – эффективная добавка в ремонтные цементные композиты. Часть 2. Пуццоланическая активность глин в зависимости от содержания в них каолинита // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 10. С. 17–20.
4. Сагдиев Р. Р., Шелихов Н. С., Рахимов Р. З., Стоянов О. В. Влияние технологических условий получения и добавок на свойства композиционного карбонатно-глинистого вяжущего // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 5. С. 110–113.
5. Brick and Block Masonry: Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference / Padova. Italy. 2016.
6. Rakhimov R. Z., Kamalova, Z. A., Yermilova E. Y. Blended Portland Cement Based on Thermally Activated Clays and Carbonate // Inorganic Materials. 2018. № 4. P. 578–583.
7. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р., Стоянов О. В. Глинистые пуццоланы. Часть 2. Исследование пуццоланической эффективности глин в зависимости от присутствия и содержания в них каолинита // Вестник Технологического университета. 2016. № 1. С. 80–83.
8. Селяев В. П. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций с учетом сульфатной коррозии бетона // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 1. С. 41–52.
9. Батраков В. Г. Повышение долговечности железобетона добавками – модификаторами // Бетон и железобетон. 1987. № 7. С. 40–42.
10. Москвин В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. А. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты. М. : Стройиздат, 1980. 536 с.

Shelikhov Nikolay Sergeyevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: shelihov@kgasu.ru
Sagdiev Ruslan Rustemovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: ruslan-kgasu@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Timirgaliev Marat Marsovich
engineer
E-mail: marat14041994@mail.ru
LLC «DD-Art» Masteri SMR
The organization address: 420075, Russia, Kazan, Lipatova st., 7

Design of a method for assessing the durability of building materials in aggressive environments

Abstract

Problem statement. The aim of this work is to create a method for assessing the durability of concrete in an aggressive environment, and to increase the service life by using hydraulic additives in the form of thermally activated clays.

Results. It has been established that using additives of thermally activated clay, cement strength can be increased within certain limits. The assumption that thermally activated clay is able to increase the resistance of concrete in a sulfate environment has been confirmed.

The research results made it possible to propose a method for calculating the durability of concrete operating in a sulfate medium.

Conclusions. An analysis of the results makes it possible to propose an algorithm for evaluating the durability of concrete in a sulfate medium, complementing existing methods.

Keywords: additives, strength and resistance of concrete to aggression, thermally activated clays.

References

1. Sagdiev R. R., Shelihov N. S., Rahimov R. Z. Low-firing binders from magnesium containing carbonate raw materials // Inorganic Materials. 2016. № 11. P. 1172–1178.
2. Shelikhov N. S., Sagdiyev R. R., Rakhimov R. Z., Stoyanov O. V. The effect of mineral additives on the properties of hydraulic binders of low-temperature firing // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2016. № 5. P. 93–96.
3. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R., Stoyanov O. V. Clay is an effective additive in cement repair composites. Part 2. Pozzolanic activity of clays depending on the content of kaolinite in them // Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya. 2016. № 10. P. 17–20.
4. Sagdiyev R. R., Shelikhov N. S., Rakhimov R. Z., Stoyanov O. V. The influence of technological conditions of production and additives on the properties of composite carbonate-clay binder // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. № 5. P. 110–113.
5. Brick and Block Masonry: Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference / Padova. Italy. 2016.
6. Rakhimov R. Z., Kamalova, Z. A., Yermilova E. Y. Blended Portland Cement Based on Thermally Activated Clays and Carbonate // Inorganic Materials. 2018. № 4. P. 578–583.
7. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R., Stoyanov O. V. Glinistyye putstsolany. Chast' 2. Issledovaniye effektivnosti izucheniya kaolinita // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2016. № 1. P. 80–83.
8. Selyayev V. P. Prediction of the durability of reinforced concrete structures taking into account sulfate corrosion of concrete // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2014. № 1. P. 41–52.
9. Batrakov V. G. Improving the durability of reinforced concrete with additives – modifiers // Beton i zhelezobeton. 1987. № 7. P. 40–42.
10. Moskvin V. M., Ivanov F. M., Alekseyev S. N., Guzeyev Ye. A. Corrosion of concrete and reinforced concrete. Methods of their protection. M. : Stroyizdat, 1980. 536 p.

УДК 69.058.3
Богданов Андрей Николаевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: BogdanovAN@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Листратов Ян Александрович
инженер
ООО «Восток-С»
Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Московская, д. 27, оф. 406

Строительный контроль методом наземного лазерного сканирования[1]

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить преимущества применения наземного лазерного сканирования (НЛС) в качестве инструментального метода при проведении строительного контроля в составе комплекса цифровых и BIM-технологий при возведении и последующем мониторинге состояния строительных конструкций.

Результаты. Показана последовательность производства работ и методика оценки результатов сканирования при применении способа наземного лазерного сканирования как инструментального метода оценки качества строительно-монтажных работ.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в снижении сроков и в упрощении процедуры проведения строительного контроля; в ускорении принятия решений по конструкциям объектов строительства при выявлении критичных отклонений от проектных показателей; в возможности проведения непрерывного мониторинга при возведении строительных конструкций, как объектах в период строительства, так и в период их дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: строительный контроль, наземное лазерное сканирование, 3D-модель, BIM-технология, облако точек.

Введение

В области осуществления строительного контроля, базовым документом является Градостроительный кодекс Российской Федерации, в соответствии с которым нормативная база регулируется законами и иными правовыми актами федерального, регионального уровня и местного самоуправления. Постановлением Правительства РФ от 21.06.2010 № 468 утверждено положение о проведении строительного контроля.

В соответствии с Градостроительным кодексом РФ, технический надзор или строительный (производственный) контроль – «это комплекс экспертно-проверочных мероприятий, осуществляемых с оптимальной регулярностью и по строгому контролю соответствия всего процесса строительных и ремонтных работ действующим нормам и правилам, а также проектной документации». В соответствии с ч. 2 ст. 53 Градостроительного кодекса РФ строительный контроль осуществляется заказчиком и иными указанными лицами.

Задача строительного контроля заключается в решении многоуровневой интегрированной системы, включающей ряд мероприятий и процедур, обязательных для выполнения на всех этапах (стадиях) строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства.

Строительный контроль складывается из строительного контроля застройщика (заказчика), лабораторного контроля, геодезического контроля, производственного контроля, авторского надзора, контроля качества инженерных изысканий и т.д.

На особо опасных, технологически сложных и уникальных объектах капитального строительства строительный контроль осуществляется инспекционными организациями, аккредитованными в Единой системе оценки соответствия.

[1]Статья подготовлена по материалам специалиста по внедрению AEC, CAD, BIM, PDM Алешутина Ильи Алексеевича.

Строительный контроль и его задачи

В состав строительного контроля, по решению застройщика (заказчика), могут включаться задачи мониторинга технического состояния зданий и сооружений, отдельных конструкций, анализ конструкционных систем, систем мониторинга окружающей застройки и экологической обстановки.

В состав задач организации, осуществляющий строительный контроль, включается: своевременное оформление разрешительной документации на строительство и подготовительные работы, контроль выноса границ отвода земельного участка под строительство, контроль и приемка работ по разбивке осей зданий, инженерных сетей и коммуникаций, оценка сроков, состава и качества проектно-сметной документации, контроль сроков и качества строительно-монтажных работ, качества строительных материалов, полуфабрикатов, деталей и конструкций, наличие паспортов, результатов лабораторных анализов и испытаний, контроль своевременности и качества оформления производственно-технической и исполнительной документации, ведения общего и специальных журналов производства работ, рассмотрение текущих вопросов организации строительного контроля и участие в подготовке документации к сдаче объекта в эксплуатацию (СДОС-03-2009).

В задачи строительного контроля входит проведение независимой геодезической съемки и обмерных работ на объекте, с целью проверки соответствия данных исполнительной документации фактическим параметрам объекта. Обмерные работы в ходе технической экспертизы или строительного контроля выполняются для точного определения фактических геометрических параметров здания или сооружения. Отличительной особенностью обмерных работ, для целей технического надзора, от обычных архитектурных обмеров, является требование указания на обмерных чертежах отклонений по всем контролируемым элементам здания от проектного положения, отклонение несущих конструкций от вертикали, а перекрытий – от горизонта (СП 48.13330.2011).

Все большее применение в строительстве находят информационные BIM-технологии. Большинство из них направлены на решение задач, связанных как с моделированием отдельно стоящих зданий, сооружений, так и застройки кварталов и городов, инженерных сетей, дорог и т.д. Помимо решения задач с проектированием объектов остается много смежных отраслей, в которых цифровые технологии еще не получили интенсивного развития. К примеру, строительный контроль за ходом строительства зданий или длительный мониторинг состояния конструктивной части объекта, его ограждающих конструкций.

Для общественных и ответственных зданий и сооружений, фабрик и заводов, необходимо проводить обязательные периодические инспекционные проверки состояния и отклонений конструктивных элементов здания при эксплуатации, в особенности в местах концентрации напряжений, с целью предупреждения наступления предельных состояний [1]. Для решения множества задач подходит метод наземного лазерного сканирования (НЛС).

Начиная с первых этапов строительства, периодические или постоянные геодезические измерения, выполняемые в интересах контроля строительства объектов, способны обеспечить технические и управленческие службы заказчика и инвестора, объективной информацией о ходе строительства, о допущенных нарушениях проекта, о фактически выполненных объёмах строительного этапа. Своевременно обнаруженные отклонения от проекта позволяют уменьшить время на принятие решения по внесению изменений в проект и/или устранению недостатков работы строителей или монтажников [2]. Накоплен большой опыт, когда отклонение от проекта, выявлялось на конечных стадиях строительства, когда исправить ситуацию уже практически невозможно или это сопряжено с серьёзными дополнительными затратами [3, 4].

Более 17 лет осуществлением контроля методом НЛС в гражданском промышленном строительстве или при авторском надзоре занимаются все владельцы лазерных сканеров. При этом для заказчика строительства осуществление подобного контроля оказывается экономически обоснованным, в особенности учитывая то, что в

современных реалиях не существует иного быстрого и объективного метода сбора фактической информации об объекте [3-6].

К недостаткам применения метода НЛС можно отнести отсутствие нормативной документации и официальных методик проведения работ, а так же методик оценки стоимости работ. Ранее, в научном журнале «Известия КГАСУ» № 4 (46) авторы Богданов А.Н. и Алешутин И.А. приводили примерную рыночную стоимость производства работ и стоимость оборудования.

3D-сканирование – не всегда экономически обосновано. Существует ряд узконаправленных уникальных задач, с которыми лазерное сканирование не справится, или его применение окажется не оптимальным по затратам. Например, с задачей контроля небольшого числа локальных точек при монтаже балки, с успехом справится геодезист с тахеометром. Но, при монтаже сложных конструкций с необходимостью контроля множества параметров, в особенности в реальном режиме времени, или при сплошном контроле строительства, не обойтись без средств автоматизации. Многие авторы отмечали риски применения BIM-технологий в реальном режиме времени, к примеру, в работе «A review of risk management through BIM and BIM-related technologies» [7].

Производство работ в составе строительного контроля

Методика проведения и оценка результатов сканирования на соответствие проектной модели приведены на примере объекта «Северный вестибюль» станции метро «Пятницкое Шоссе» (г. Москва), схожа с результатами [8] для простых объектов.

При проведении работ решалась задача совмещения исходной проектной BIM-модели объекта с отсканированной фасадной частью уже построенного вестибюля станции метро, с целью определения наличия отдельных элементов в реальной конструкции и их отклонений от проектной. Похожие задачи решались ранее [9]. Сканирование производилось с помощью сканера Topcon GLS-2000, представляющего собой универсальный рабочий инструмент, предназначенный для проведения работ по сканированию объектов в диапазоне от 1 до 350 метров (технические характеристики сканера приведены в табл.). Инструмент имеет компактный размер, защищен от воздействия влаги и пыли.

Для решения поставленной задачи применялись системы, представленные на рис. 1 в виде сквозного технологического процесса обработки результатов (AutoDesk ReCap, AutoDesk Navisworks, AutoDesk Revit, Point Layout).

Рис. 1. Программные комплексы [10]

Таблица

Метрологические и технические характеристики сканера Topcon GLS-2000 [11]

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диапазон измерения расстояний, м:	от 1 до 350
Допустимая средняя квадратическая погрешность измерения расстояний, мм:	±3,5
Угловое поле сканирования, …°: - в горизонтальной плоскости: - в вертикальной плоскости:	от 0 до 360 ±135
Допустимая средняя квадратическая погрешность измерения углов, …²:	6
Диапазон рабочих температур, °С:	от – 5 до + 30
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм, не более:	152×293×412
Масса, кг, не более:	11

Производство работ по наземному лазерному сканированию (НЛС)

На первом этапе, перед началом сканирования определяются места закрепления связующих марок. Связующие чёрно-белые круглые марки располагаются из учёта минимальной видимости 2-х марок. Впоследствии, при обеспечении условия попадания марок в поле зрения сканера с каждой станции сканирования, для объединения облаков точек, полученных в результате лазерного сканирования, достаточно двух связующих марок (минимального количества марок, требуемого для регистрации сканов в единую систему координат). В случае если потребуется объединение результатов сканирования, полученных последовательно один за другим, следуя по определённому маршруту, необходимо обеспечивать наличие в поле видимости сканера большего количества связующих марок. При необходимости сгущения сети связующих точек можно использовать местные предметы и элементы ситуации. К примеру, программное обеспечение «Topcon» позволяет производить регистрацию сканирований посредством сферических объектов. Объединенное облако точек с допустимыми погрешностями, при отсутствии черно-белых марок, можно получить, используя в поле зрения сканера сферические объекты (например, фонари освещения).

Выбор мест сканирования проводился с учетом большого количества деталей сооружения (как мелких, так и крупных), которые могут быть причиной возникновения «теней» (участков, не покрытых облаком точек). Источниками теней может быть любой угол, навес, выступающая часть фасада, колонна, элементы ландшафта и многое другое. В результате приходится увеличивать количество станций, наряду с увеличением дополнительных марок.

Для максимально полного охвата поверхности объекта было сделало 8 станций (сканирование выполнено с 8 разных точек для покрытия всей поверхности объекта точками).

На этом подготовительный период заканчивается. На следующем этапе производится лазерное сканирование с заданной плотностью фасадной части вестибюля. Для покрытия поверхности точками с достаточной степенью плотности требуется сканирование с разных позиций вокруг объекта с перестановкой сканера. Например, авторы [12] указывают на необходимость улучшения качества облака точек для повышения достоверности результатов при мониторинге строительства объекта. Вестибюль имеет овальную форму, поэтому необходимо перемещать сканер вокруг него. Непосредственно процесс сканирования объекта занимает около двух часов.

Инструментальный контроль методом НЛС

По окончанию сканирования, результаты объединяются в единую модель.

Эта задача решается, например, в программном модуле «AutoDesk ReCap», где проводится объединение сканов в единую модель с целью последующей обработки. Сначала проводится регистрация облаков точек с объединением их в единый массив данных (рис. 2). Данная операция может проводиться как в ручном, так и в автоматическом режиме. Для регистрации или привязки облаков точек в ручном режиме,

достаточно отметить либо три общие характерных точки, либо три специальных мишени на перекрывающихся сканах, одновременно оценивая результат скана, и проводя повторную регистрацию в случае неудовлетворительного результата. По результатам регистрации выводится отчет.

На загрузку данных и сшивку отдельных сканов в единое облако точек для восьми станций уходит порядка полутора часов. Результат рассмотрения сканирований на каждой станции приведен на рис. 2.

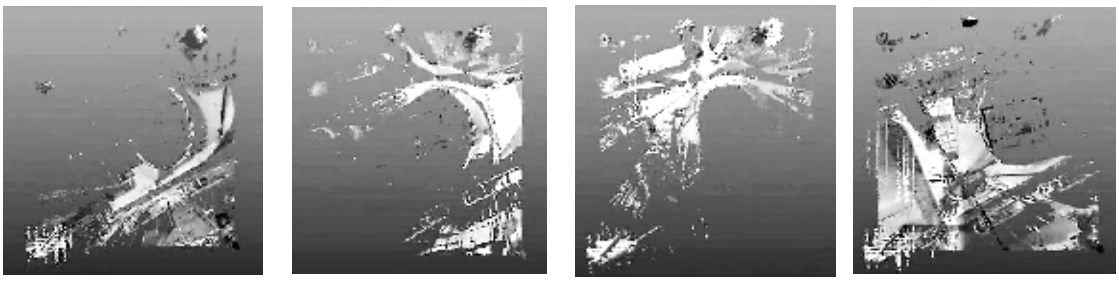


Рис. 2. Покрытие облака точек с четырех станций [10]

Для вестибюля, регистрация 6 отдельных сканов из 8, выполнена автоматически, для 2-х сканов потребовалось указание общих точек, поскольку на модели оказалось большое количество повторяющихся деталей, и, в подобном случае, программный комплекс не всегда успешно справляется с задачей.

Возможности ReCap позволяют отобразить облако точек в виде 3D-модели, перемещаться и выполнять промеры расстояний в любом направлении в ее пределах (рис. 2). Созданные размеры можно интерактивно редактировать, настраивать стили отображения облака точек, переключаться с отображением градиентов цветов для отображения высот, интенсивности отраженного сигнала и направления нормалей поверхности (рис. 3).

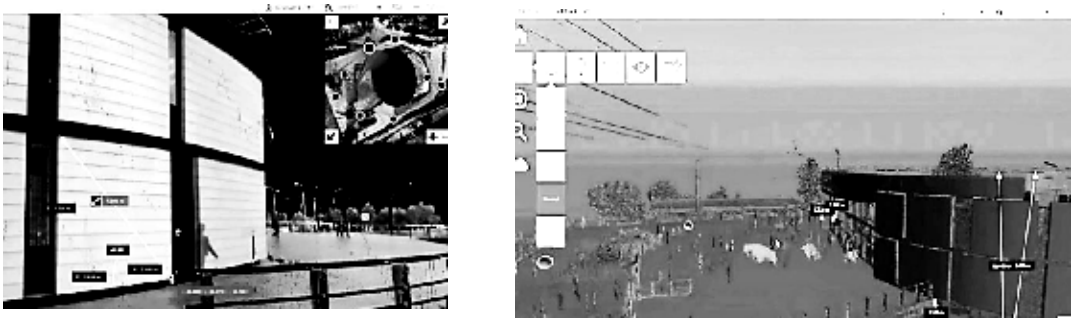


Рис. 3. Обмерные работы на 3D-модели [10]

По окончанию объединения сканов в единую модель (регистрации) выполняется очистка облака точек от «артефактов». Съемка проводится в дневное время и в сканированное облако точек попадаются «следы» от нежелательных объектов, предметов, людей и т.д. Система выбирает эти «следы» по ряду критериев. Основной критерий – сравниваются несколько сканов, на которых выделяются объекты, не имеющие постоянного положения, или отсутствующие на отдельных сканах, подлежащие удалению (рис. 4). Затем проводится оценка результатов методом визуального контроля. В случае необходимости можно вернуться на площадку сканирования и дополнительно сделать достаточное число стоянок для обеспечения полного покрытия объекта точками.

Сравнение исходной (проектной BIM-модели) и, полученной в результате сканирования, моделей проводится методом наложения, позволяющего оценить отклонения или изменения конфигурации реального объекта от проектных решений (рис. 5).

Для этих целей использовалась программная среда Navisworks. При визуальном анализе видны основные отличия от проектной модели, которые можно оценить

инструментально. Последовательность и результат наложения моделей приведены на рис. 5. Здесь слева приведена проектная BIM-модель, в центре – результат сканирования реального объекта и справа – результат наложения облака точек на проектную BIM-модель.

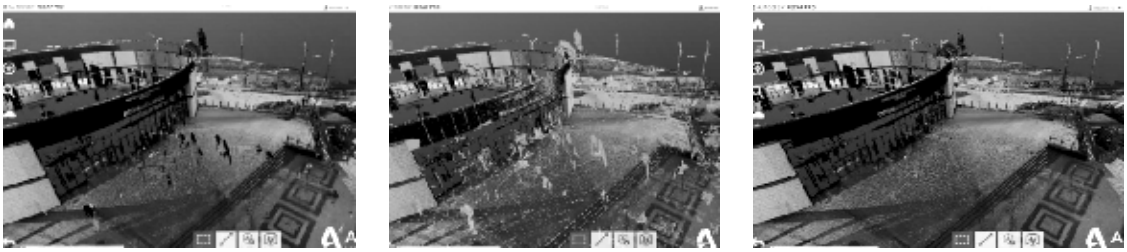


Рис. 4. Очистка облака точек [10]
(слева – исходное; в середине – обнаружение объектов; справа – после очистки)

Рис. 5. Совмещение облака точек с проектной моделью [10]
(слева – проектная модель; в середине – облако точек; справа – результат наложения)

При сравнении видны отличия проектной BIM-модели от реального объекта. К примеру, отсутствие дополнительного входа на проектной модели.

Система Revit также позволяет выполнить наложение облака точек на имеющуюся BIM-модель объекта. Результаты можно оценить как в трехмерном, так и в двухмерном виде, планов этажей, фасадов и разрезов (рис. 6).

Рис. 6. Трехмерное и двухмерное отображение облака точек [10]

На планах этажей видны отклонения геометрии объекта от геометрии проектной модели в горизонтальной плоскости. В программной среде можно количественно оценить размеры и отклонения. К примеру, на плане верхнего этажа хорошо видно нарушения формы фасада, отличаются размеры и параметры эллипса, неплавность очертаний (рис. 7). Анализ вертикального разреза (рис. 7) позволяет оценить отклонения фасада от проектных значений по вертикали. Видно, что вертикальность сооружения не нарушена.

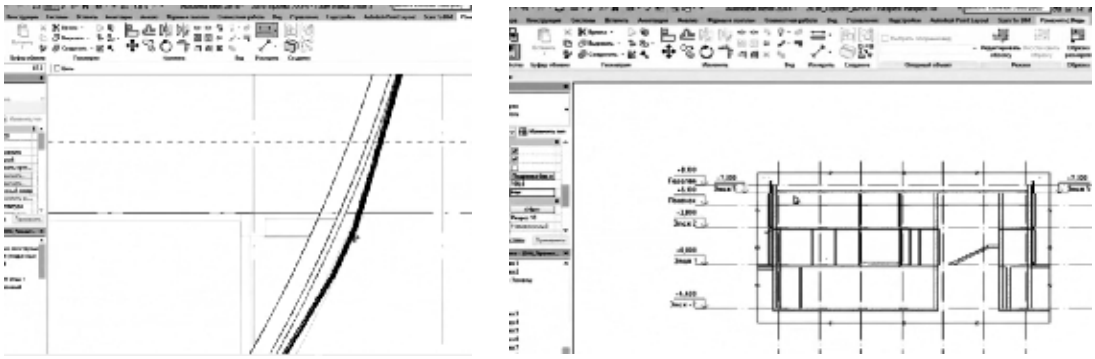


Рис. 7. Несоответствие формы фасада проектной модели [10]

Окончательный, более точный анализ конкретных значений отклонений выполняется в приложении Autodesk Revit совместно с Autodesk Point Layout (рис. 8). С помощью этих программных комплексов проводится оценка величин отклонений, по результатам которых готовятся отчеты, например, в виде картограммы, поддающиеся визуализации. Впоследствии, руководствуясь отчетами, можно принимать решения о внесении изменений на объекте (рис. 8).

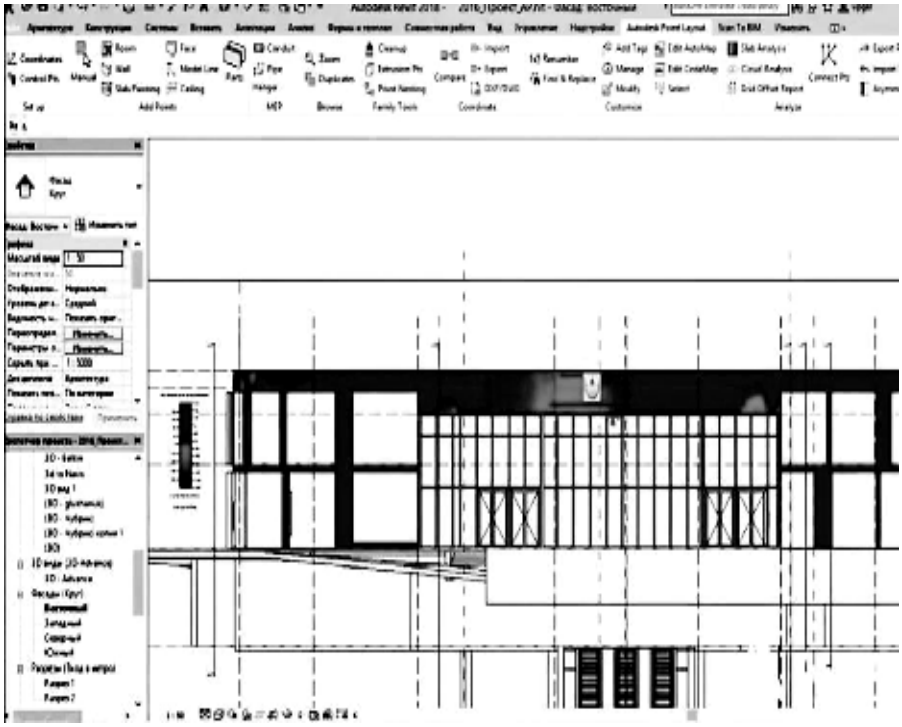


Рис. 8. Картограммы объекта с отклонениями [10]
(допуски и отклонения обозначены градиентом цвета)

На картограмме (рис. 8), допуски и отклонения от проектных значений обозначены градиентом цвета. Видно, что ряд конструкций имеет отклонения от проектных превышающие 20 см.

При редактировании элементов модели можно ее актуализировать, осуществив привязку облака точек.

Заключение

Таким образом, наглядно показаны преимущества применения метода НЛС при проведении строительного контроля, обеспечивающего получение информации о соответствии объекта строительства любой сложности и конфигурации в плане, проектной документации, в реальном режиме времени. Применяя метод НЛС в качестве

инструментального метода можно определить наличие отклонений строительных конструкций от проектных значений, сделать их качественную и количественную оценку и, с большой вероятностью, в сжатые сроки принять решение о необходимости внесений изменений в проект или объект строительства. Метод НЛС применим для проведения строительного контроля, как новых объектов строительства, так и при мониторинге напряженных состояний строительных конструкций зданий и сооружений в период их эксплуатации.

Список библиографических ссылок

1. Chao Chen, Llewellyn Tang BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance // Automation in Construction. November 2019. Volume 107. Article 102944.
2. Jovita Cepurnaite, Leonas Ustinovicius, Mantas Vaisnoras Modernization with BIM technology through scanning building information // Procedia Engineering. 2017. Vol. 208. P. 8–13.
3. Лазерное сканирование в интересах авторского надзора и контроля строительства // URL: https://acropol-geo.ru/o-texnologii/119-kontrol-stroitelstva (дата обращения: 22.10.2018).
4. Кошан Е. К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. С. 27–30.
5. Шевченко Г. Г., Гура Д. А., Акопян Г. Т. Применение наземного лазерного сканирования в строительстве и BIM-технологиях // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2018. № 2. С. 254–256.
6. Киямов И. К., Мингазов Р. Х., Музафаров А. Ф., Ибрагимов Р. А., Сибгатуллин И. А. Объемное проектирование путем применения технологии лазерного сканирования // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2014. Том 12. № 3. С. 88–93.
7. Yang Zou, Arto Kiviniemi, Stephen W. Jones A review of risk management through BIM and BIM-related technologies // Safety Science. August 2017. Vol. 97. P. 88–98.
8. Hamzah A., Nathan M., R. Raymond Issa. Laser scanning technology and BIM in construction management education // ITcon Vol. 21. 2016. P. 206–207.
9. Mahmoud Ahmed, Yelda Turkan, Carl T. Haas, Ralph Haas The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM-techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components // Automation in Construction. 2015. Vol. 49. Part B. P. 201–213.
10. Алешутин И. А. Контроль в строительстве и BIM-технологиях с использованием лазерного сканирования. Казань : КГАСУ, 2019.
11. Лазерный сканер TOPCON // URL: http://geo-teh.ru/upload/iblock/bb9/bb9aa647236c792b512d0ef766e7bd26.pdf (дата обращения 03.05.2019).
12. Danijel Rebolj, Zoran Pučko, Nenad Čuš Babič, Marko Bizjak, Domen Mongus Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring // Automation in Construction. December 2017. Vol. 84. P. 323–334.

Bogdanov Andrey Nikolaevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: BogdanovAN@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelyonaya st., 1
Listratov Jan Alexandrovitch
engineer
LLC «Vostok-S»
The organization address: 420111, Russia, Kazan, Moscowskaya st., 27, of. 406

Construction control by ground laser scanning

Abstract

Problem statement. The aim of the research is to identify the advantages of using ground laser scanning (GLS) as an instrumental method during construction control as part of a complex of digital and BIM-technologies during construction and subsequent monitoring of the state of construction structures.

Results. The sequence of works performance and the method of evaluation of scanning results at application of the method of ground laser scanning as an instrumental method of assessment of quality of construction and installation works are shown.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry consists in reducing the time frame and simplifying the procedure for carrying out construction control, accelerating the adoption of decisions on the structures of construction objects with the detection of critical deviations from the design indicators, the possibility of continuous monitoring during the construction of construction structures, both during the construction and during their further operation.

Keywords: construction control, ground laser scanning, 3D-model, BIM-technology, point cloud.

References

1. Chao Chen, Llewellyn Tang BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance // Automation in Construction. November 2019. Volume 107. Article 102944.
2. Jovita Cepurnaite, Leonas Ustinovicius, Mantas Vaisnoras Modernization with BIM technology through scanning building information // Procedia Engineering. 2017. Vol. 208. P. 8–13.
3. Laser scanning in the interests of architectural supervision and construction control // URL: https://acropol-geo.ru/o-texnologii/119-kontrol-stroitelstva (reference date: 10.22.2018).
4. Koshan E. K. Opportunities, advantages and disadvantages of ground-based laser scanning // Interexpo Geo-Sibir'. 2017.P. 27-30.
5. Shevchenko G. G., Gora D. A., Akopyan G. T. Application of ground-based laser scanning in construction and BIM-technologies // Nauchnye trudy KubGAU. 2018. № 2. P. 254–256.
6. Kiyamov I. K., Mingazov R. Kh., Muzafarov A. F., Ibragimov R. A., Sibgatullin I. A. Volumetric design using laser scanning technology // Uchenye Zapiski Almetyevskogo gosudarstvennogo neftyanogo instituta. 2014. Volume 12. № 3. P. 88–93.
7. Yang Zou, Arto Kiviniemi, Stephen W. Jones A review of risk management through BIM and BIM-related technologies // Safety Science. August 2017. Vol. 97. P. 88–98.
8. Hamzah A., Nathan M., R. Raymond Issa. Laser scanning technology and BIM in construction management education // ITcon Vol. 21. 2016. P. 206–207.
9. Mahmoud Ahmed, Yelda Turkan, Carl T. Haas, Ralph Haas The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM-techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components // Automation in Construction. 2015. Vol. 49. Part B. P. 201–213.
10. Aleshutin I. A. Control in construction and BIM-technologies using laser scanning. Kazan: KGASU, 2019.
11. Laser scanner TOPCON // URL: http://geo-teh.ru/upload/iblock/bb9/bb9aa647236c792b512d0ef766e7bd26.pdf (reference date: 05.05.2019).
12. Danijel Rebolj, Zoran Pučko, Nenad Čuš Babič, Marko Bizjak, Domen Mongus Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring // Automation in Construction. December 2017. Vol. 84. P. 323–334.

УДК 624.088.8
Мудров Александр Григорьевич
доктор технических наук, профессор
E-mail: Alexmudrov42@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д.1
Мудрова Анна Александровна
соискатель
E-mail: annamudrova@mail.ru
Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация)
Адрес организации: 117312**,** Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 7

Использование регулируемого силового воздействия в строительных технологиях

Аннотация

Постановка задачи. В нашей стране с каждым годом увеличивается объем жилищного и промышленного строительства, при которых широко используются устройства с силовыми воздействиями: для забивания свай, уплотнения грунта и асфальтобетонных покрытий, извлечения труб и свай и т.п. Используемые устройства для этих целей не всегда удовлетворяют производственников из-за дороговизны иностранных изделий, а техника российского производства ограничена в количестве и несовершенна.

Цель исследования – разработать универсальные малогабаритные эффективные устройства для силового воздействия в различных строительных технологиях.

Результаты. В результате исследования предложены новые малогабаритные устройства, использующие направленное регулируемое силовое воздействие как при забивании или извлечении свай, уплотнении грунта или асфальтобетонного покрытия, так и для самопередвижения устройства (в качестве движителя).

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в создании новых малогабаритных универсальных эффективных устройств как для уплотнения грунта и асфальтобетона, так и для забивания и извлечения свай и труб и самопередвижения, в качестве движителя.

Ключевые слова: силовое воздействие, уплотняющее устройство, забивание свай, инерционные силовые импульсы.

Введение

Машины и устройства для уплотнения грунтов предназначены для увеличения плотности и прочности грунтов, придания им необходимой устойчивости, несущей способности и водонепроницаемости [1]. Грунты уплотняются укаткой, трамбованием, вибрацией, виброукаткой и вибротрамбованием.

Наиболее распространенным оборудованием для уплотнения являются катки, прицепные и самоходные, которые уплотняют слой толщиной до 20 см, необходимая степень уплотнения достигается за 6-12 проходов по одному следу, при этом затрачивается значительная мощность от 57 до 121 кВт, что снижает эффективность процесса.

Качество уплотнения грунта и асфальтобетонных покрытий зависит от многих факторов, в том числе, от типа катков, режима их работы, температуры асфальтобетонной смеси, толщины уплотняемого слоя и т.д. [2-4].

Для погружения свай используются копры, молоты, которые могут быть различного действия: механические, паровоздушные, гидравлические, дизель-молоты [5].

Ударное действие копров нежелательно вблизи жилых строений из-за шума и опасностью для фундаментов сооружений.

Следует отметить, что используемая техника в строительстве не всегда обеспечивает требуемое качество работ, например, при уплотнении катками необходимо производить много проходов по одному и тому же следу, затрачивать большие мощности.

Виброплиты не имеют направленного силового воздействия от вращающегося дебаланса, поскольку имеют круговое действие с одинаковым значением, что недостаточно эффективно для уплотнения. Кроме этого, они затрачивают сравнительно большие мощности на рабочий процесс, а перемещаются по уплотняемой площади с помощью тяги оператора, на здоровье которого оказывают вредное влияние вибрации.

Из публикаций зарубежных авторов можно выделить темы по уплотнению асфальтобетона [6, 7]. Кроме того, за рубежом пространственные механизмы только с вращательными шарнирами и устройства на их базе не используются, так как ученые не могут их изготовить.

Авторами поставлена цель – разработать универсальные малогабаритные эффективные устройства, использующие направленное регулируемое силовое воздействие, как при забивании или извлечении свай, уплотнении грунта или каменного материала и асфальтобетонного покрытия, так и для самопередвижения устройства без участия оператора.

Анализ и обсуждение исследования

В устройствах строительных технологий использованы известные способы и механизмы, плоские и пространственные. В последних для соединения звеньев используются сочетания шаровых, шаровых с пальцем, цилиндрических и вращательных шарниров. В образовании пространственных механизмов с указанным набором шарниров затруднений нет, их можно создавать десятками, но шаровые шарниры сложнее изготавливать, у них малый ресурс, ограничения по несущей способности и другие недостатки.

Предпочтительнее во всех отношениях в механизмах иметь только вращательные шарниры, оформляемые стандартными подшипниками качения, у которых значительно выше силовые передаточные показатели и срок службы, они легко изолируются от агрессивной внешней среды, имеют высокий КПД. Но такие механизмы не подходят под известные теории и не должны проворачиваться. Был известен сферический механизм с вращательными шарнирами, теоретически описанный еще в 250 г. до новой эры в Египте и только 1800 лет спустя изготовленный и использованный для подвеса морских компасов, а еще через 150 лет – для передачи движения.

Поскольку преимущества вращательных шарниров в пространственных механизмах сомнений ни у кого не вызывали, ученые и практики многократно пытались образовать другие пространственные механизмы этого типа. Но обычной комбинацией звеньев никому не удавалось создать хотя бы один работоспособный механизм.

Только в 1903 г. изобретательским путем английскому математику Беннетту удалось теоретически обосновать возможность существования пространственного четырехзвенного механизма, правда, с цилиндрическими шарнирами [8]. Беннетт пытался изготовить модель механизма, но сделать это ему не удалось, по этой причине он сомневался и в его практическом использовании, рассматривал механизм как математическое доказательство согласованного расположения тел в пространстве (теоретические изыскания математика).

В последующие годы многие ученые из США, Японии, Германии, СССР, Франции и других стран теоретически исследовали этот механизм, но ни модель, ни тем более производственный образец изготовить они не могли.

За прошедшие более сто лет никому из зарубежных и отечественных ученых не удалось изготовить не только натурный образец, но и модель механизма (это положение сохраняется и в настоящее время). Здесь наблюдался огромный разрыв между теорией и практикой.

Лишь казанскому ученому профессору Б.В. Шитикову [9] удалось изготовить модель механизма и, вместе с П.Г. Мудровым [10], началось исследование таких механизмов. На базе механизмов создано более сотни разнообразных устройств, защищенных более 120 авторскими свидетельствами и патентами на изобретения.

Создано новое научное направление в теории механизмов и машин, причем с хорошим практическим подтверждением. Данное научное направление является приоритетным в мире и в нашей стране.

Казанскими учеными раскрыты большие функциональные возможности пространственных механизмов только с вращательными шарнирами, используемые

эффективно в производственных целях по семи разделам техники. По данной тематике издано 7 монографий общим объемом 74,15 печатных листов, опубликовано более 70 научных статей в открытой печати различного уровня, внедрено в производство более 20 устройств различного назначения, получены 2 серебряные и 3 бронзовые медали ВДНХ СССР, бронзовая медаль НТО РСФСР.

На кафедре ДСМ КГАСУ продолжаются исследования механизмов этой группы, за последние три года (начиная с 2016 г.) по семи разделам техники созданы устройства, защищенные 15 патентами, в том числе, 8 – на полезные модели и 7 – на патенты.

В данной статье рассматриваются устройства, основанные на базе четырехзвенного механизма Беннетта-Шитикова (предложено называть по фамилиям авторов теоретического и практического применения), для строительных технологий направленным силовым воздействием: уплотнение грунта и асфальтобетона, забивание свай и труб, инерционное транспортное средство.

Итак, в качестве базового модуля вышеупомянутых устройств принят механизм Беннетта-Шитикова, схема которого изображена на рис. 1.

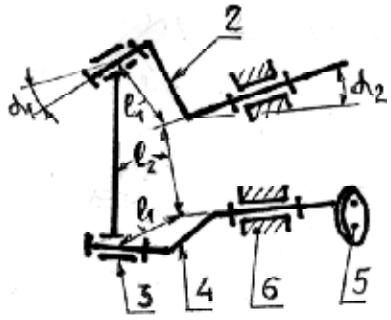


Рис. 1. Схема четырехзвенного механизма (иллюстрация авторов)

У механизма звено 2 – ведущий кривошип, звено 4 – ведомый кривошип, звено 3 – шатун, звено 6 – стойка, на валу ведомого кривошипа 4 закреплен дебалансный груз 5.

Особенность механизма заключаются в том, что звенья соединены только на шарикоподшипниках качения, а шарниры противоположных звеньев (2, 4 и 3, 6) скручены (не параллельны и не пересекаются) под углами α_1, α_2, и расположены на расстояниях ℓ_1, ℓ_2, при этом параметры связаны соотношением:

$$l_1/l_2=sin\alpha_1/sin\alpha_2. \quad (1)$$

Угол α_1 можно назначать от 10 до 50^0, а угол α_2 – от 30 до 90^0.

На рис. 2 отдельно показано фото опытного образца корпуса с подвижными звеньями 2-4 и дебалансным грузом 5, в устройстве угол α_2 принят равным 45^0.

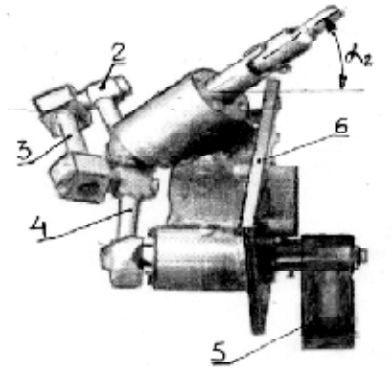


Рис. 2. Фото корпуса устройства (иллюстрация авторов)

Для использования механизма в качестве устройства для уплотнения грунта или асфальтобетона создана конструкция, схема которой показанная на рис. 3 [11].

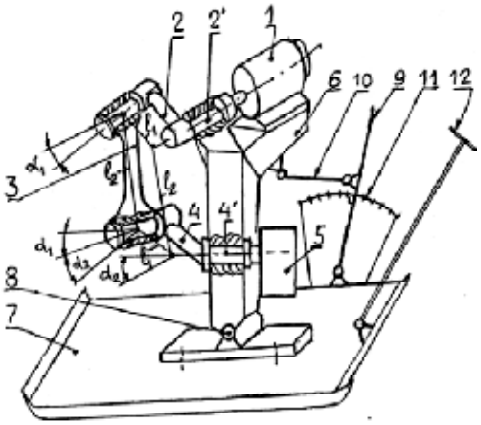


Рис. 3. Схема устройства для уплотнения грунта или асфальтобетона (иллюстрация авторов)

В этой конструкции угол α_2 принят 90^0, угол α_1 может принимать значения от 10 до 50^0. Стойка 6 (корпус) шарнирно установлена на плите 7 посредством шарнира 8 и с помощью тяги 10 и рычага 9 может поворачиваться вперед или назад.

Дебалансный груз 5 закреплен на валу 4’ ведомого кривошипа 4. Привод устройства осуществляется от электродвигателя 1.

При работе устройства вращение от вала электродвигателя передается ведущему кривошипу 2 шатуну 3 и ведомому кривошипу 4 с дебалансным грузом 5. За счет скрещенного расположения осей шарниров звеньев 2 и 4, звена 3 и осей корпуса 6, ведомое звено 4 вместе с дебалансным грузом 5 будут иметь переменную на одном обороте угловую скорость, максимальное ω_{max} и минимальное ω_{min} значения, которых определяются выражениями:

$$\omega_{\max} = \frac{\cos\alpha_1}{1-\sin\alpha_1}\omega\,,\ \omega_{\min} = \frac{\cos\alpha_1}{1+\sin\alpha_1}\omega\,, \tag{2}$$

где ω – угловая скорость ведущего звена.

При переменной угловой скорости появляется ускорение α, вращающегося дебаланса 5, равное:

$$a = r\sqrt{\omega^4+\varepsilon^2}\,, \tag{3}$$

где r – расстояние от оси вращения дебаланса до центра его массы;
ω – угловая скорость вращения дебаланса;
ε – угловое ускорение вращения дебаланса.

В результате появляется сила инерции *P*, равная $P=m\cdot a$ (здесь *m* – масса дебаланса), максимальное и минимальное значение которых равны:

$$P_{\max} = mr\frac{\cos^2\alpha_1}{(1-\sin\alpha_1)^2}\omega^2\,,\ P_{\min} = mr\frac{\cos^2\alpha_1}{(1+\sin\alpha_1)^2}\omega^2\cdot \tag{4}$$

Для движения устройства вперед рычагом 9 перемещают корпус 6 назад, в результате чего он повернется на угол β и силовое воздействие *P* будет направлено под тем же углом β (рис. 4а). Сила *P* разложится на составляющие силы: вниз $P_{вн}=P\cos\beta$ и вперед $P_{вп}=P\sin\beta$.

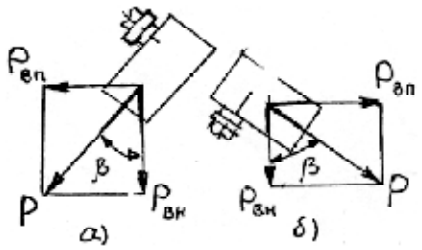


Рис. 4. Схема действия сил (иллюстрация авторов)

Сила $P_{вн}$ уплотняет грунт, а сила $P_{вп}$ перемещает устройство вперед. Ход перемещения зависит от угла β и соотношения сил $P_{вп}$ и силы трения $F_{тр}=mgf$ (f – коэффициент трения).

Регулировать режим силового воздействия устройства можно выбором углов α_1 и α_2 и расстояний ℓ_1 и ℓ_2, частотой вращения ведомого и ведущего звеньев, увеличением массы дебалансного груза, а также общим весом устройства.

Направленное силовое воздействие можно увеличить в разы, например, для погружения и извлечения свай, труб и т.п. Для этой цели объединяют два приводных механизма, как показано на рис. 5.

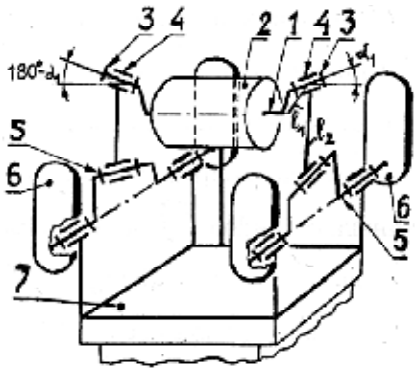


Рис. 5. Схема устройства для погружения свай (иллюстрация авторов)

Устройство включает электродвигатель 2 с двумя выходными валами 1 (общий приводной вал), на концах вала закреплены ведущие кривошипы 3, шарнирно-связанные с шатунами 4, последние шарнирно связаны с ведомыми кривошипами 5 особой конструкции с двумя концевыми валами, на которых закреплены дебалансные грузы 6. Все элементы конструкции размещены на плите 7 [12].

Действие этого устройства аналогично ранее рассмотренному устройству для уплотнения грунта или асфальтобетона, но в несколько раз интенсивнее и эффективнее.

Результирующее амплитудное значение направленной силы будет направлено в сторону, определяемую потребителем. При расположении устройства, показанного на рис. 5, воздействие можно направлять вниз, например, для погружения свай, и вверх – для вытаскивания их из грунта.

Одно из преимуществ устройства – возможность изменять направление действия результирующей силы. О ее направлении вверх или вниз было сказано ранее. С таким же успехом действие силы может, происходит под углом и в горизонтальном направлении (при соответствующим расположении устройства дебалансы вращаются в горизонтальной плоскости). В этом случае устройство будет выполнять одновременно роль двигателя с движителем. Пример использования устройства в этой роли показан на рис. 6.

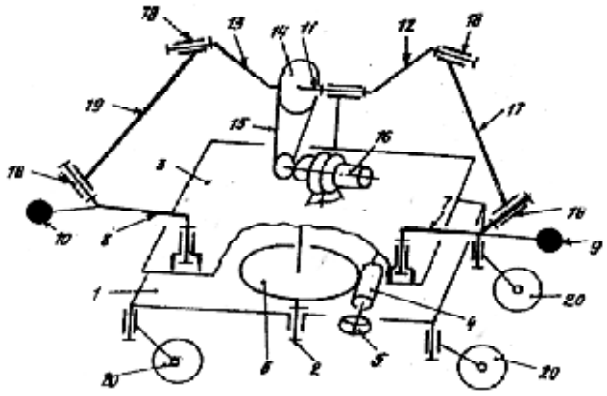


Рис. 6. Схема движителя (иллюстрация авторов)

Общее в данной конструкции с предыдущей конструкцией для погружения или извлечения свай (рис. 5) состоит в том, что, как в той, так и этой конструкции два механизма объединены через общий вал, на котором жестко закреплены ведущий и ведомый кривошипы; принцип создания регулируемых силовых воздействий одинаковый; с кривошипами шарнирно связаны шатуны, а шатуны также шарнирно связаны с ведомыми кривошипами, на валах которых закреплены дебалансные грузы.

Однако имеются и существенные отличия.

Во-первых, в конструкции для погружения свай, ведомые кривошипы с дебалансными грузами вращаются в вертикальной плоскости, а в конструкции движителя (рис. 6) грузы вращаются в горизонтальной плоскости.

Во-вторых, у ведомых кривошипов погружателя по два концевых вала, на которых закреплены дебалансные грузы, их в конструкции четыре. А в предложенной конструкции движителя всего два дебалансных груза [13].

В-третьих, в погружателе плита, на которой размещены элементы механизмов, непосредственно крепится к торцу погружаемой сваи или трубы.

В предложенной конструкции движителя элементы механизмов размещены на поворотной раме, которая связана рулевым управлением в виде червячного зубчатого зацепления с рулевым колесом с ходовой плитой, снабженной самоустанавливающимися колесами (рис. 6) или плитой в виде лыжных полос.

При встречном вращении дебалансных грузов с переменной угловой скоростью максимальное и минимальное значения силового воздействия будут определяться выражениями:

$$P_{\max} = 2mr\frac{\cos^2\alpha}{(1-\sin\alpha)^2}\omega^2,\ P_{\min} = 2mr\frac{\cos^2\alpha}{(1+\sin\alpha)^2}\omega^2, \qquad (5)$$

где m – масса дебалансных грузов;

r – радиус вращения груза;

α – угол скручивания осей шарниров кривошипов;

ω – угловая скорость ведущих кривошипов.

Анализ выражений (5) показывает, что величина силового воздействия зависит от значений масс дебалансов, радиуса вращения, угловой скорости, а также от углов скручивания кривошипов. При этом максимальное значение силы в несколько раз превышает минимальное значение и силу трения колес или полозьев о грунт, что является гарантией передвижения по любому бездорожью.

Заключение

1. Известные малогабаритные устройства российского производства для строительной отрасли недостаточно эффективны, известны в ограниченном числе. Возникла практическая потребность в создании новой высокоэффективной техники, в том числе, для уплотнения, погружения и извлечения свай из грунта, самопередвижения от одного электродвигателя.

2. Создан универсальный блок на базе механизма Беннетта-Шитикова, который используется как самостоятельное устройство для уплотнения грунта и асфальтобетонных покрытий и для создания другой универсальной техники в строительных технологиях.

3. Разработаны малогабаритные эффективные устройства, использующие направленный силовой инерционный импульс при уплотнении грунта и асфальтобетона и самопередвижение при работе, погружении свай и труб, извлечения их из грунта, используются в качестве универсального движителя.

Список библиографических ссылок

1. Шестопалов К. К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. М. : Академия, 2009. 320 с.

2. Баловнев В. И. Дорожно-строительные машины и комплексы. М.-Омск : СибАДИ, 2001. 528 с.
3. Головнин А. А. Виброволновые дорожные катки: Конструкция. Теория и расчет. Опыт применения. Тверь : ТГТУ, 2002. 76 с.
4. Мирсаяпов Илизар Т., Королева И. В., Сабирзянов Д. Д. Прочность и деформации глинистых грунтов при трехосном режимном чередующемся статическом и циклическом нагружении // Геотехника Беларуси: Наука и практика. 2013. С. 297–304.
5. Гетц А. В., Сафаров Н. А., Игнатьев Г. В. Механизация процесса уплотнения асфальтобетонной смеси катком // Молодой ученый. 2017. № 2. С. 89–91.
6. Ugay S. M. Pavement roller with perforated operating elements // World applied sciences journal. 2013. Vol. 25. № 5. P. 704–709.
7. Ryan S. Intelligent compaction overview // Proceedings of Idaho asphalt conference, 2014. 17 p.
8. Bennett G. T. A new mechanism. Engineering. Vol. 76. 1903. P. 777–778.
9. Шитиков Б. В. Исследование пространственных шарнирных механизмов. Казань : КХТИ, 1957. 28 с.
10. Мудров П. Г. Пространственные механизмы с вращательными парами. Казань : Казанский университет. 1976. 264 с.
11. Устройство для уплотнения грунта : пат. 2583802 Рос. Федерация, № 2015100377/03 ; заявл. 12.01.15 ; опубл. 10.05.16, Бюл. № 13. 5 с.
12. Устройство для погружения свай : авт. свид. № 1245656. СССР. № 3790987/29-33 ; заявл. 11.09.84 ; опубл. 23.07.86. Бюл. № 27, 1986. 5 с.
13. Инерционный двигатель : авт. свид. № 939817 СССР. № 2872903/25-06; заявлено 22.01.80 ; опубл. 30.06.82. Бюл. № 24. 5 с.

Mudrov Alexandr Grigorievich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: Alexmudrov42@rambler.ru
Kazan state University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Mudrova Anna Aleksandrovna
researcher
E-mail: annamudrova@mail.ru
The Federal service for accreditation (Rosakkreditatsiya)
The organization address: 117312, Russia, Moscow, Vavilova st., 7

The use of controlled force in construction technologies

Abstract

Problem statement. In our country, every year the volume of housing and industrial construction increases, in which devices with force effect are widely used: for driving piles, compaction of soil and asphalt concrete coatings, extraction of pipes and piles, etc. the devices Used for these purposes do not always satisfy production workers because of the high cost of foreign products, and the equipment of Russian production is limited in quantity and imperfect.

The aim of the research is to develop universal small-sized effective devices for force action in various construction technologies.

Results. As a result of the study, new small-sized devices are proposed that use directional controlled force action both when driving or removing piles, compacting soil or asphalt concrete pavement, and for self-movement of the device (as a mover).

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is the creation of new small-sized universal effective devices for compacting soil and asphalt concrete, and for driving and removing piles and pipes and self-propulsion, as a mover.

Keywords: force action, sealing device, pile driving, inertial force impulses.

References

1. Shestopalov K. K. Lifting and transport, construction and road machinery and equipment. M. : Academia, 2009. 320 p.
2. Balovnev V. I. Road-building machines and complexes. M.-Omsk : SibADI, 2001. 528 p.
3. Golovnin A. A. Webrevolve road rollers : Design. Theory and calculation. Application experience. Tver : TSTU, 2002. 76 p.
4. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. Strength and deformation clay soils under triaxial regime alternating static and cyclic loading // Geotekhnika Belarusi: Nauka i praktika. 2013. P. 297–304.
5. Getz A. V., Safarov N. A., Ignatiev G. V. Mechanization of the compaction process of asphalt concrete mixture with a roller // Molodoy uchenyy. 2017. № 2. P. 89–91.
6. Ugay S. M. Pavement roller with perforated operating elements // World applied sciences journal. 2013. Vol. 25. № 5. P. 704–709.
7. Ryan S. Intelligent compaction overview // Proceedings of the Idaho asphalt conference, 2014. 17 p.
8. Bennett G. T. A new mechanism. Engineering. Vol. 76. 1903. P. 777–778.
9. Shitikov B. V. Investigation of spatial hinge mechanisms. Kazan : KSTU, 1957. 28 p.
10. Mudrov P. G. Spatial mechanisms with rotational pairs. Kazan : Kazan University, 1976. 264 p.
11. Soil compaction device : patent 2583802 Rus. Federation, № 2015100377/03 ; declared. 12.01.15 ; publ. 10.05.16, Byul. № 13. 5 p.
12. Device for plunging piles : auth. sert. № 1245656. USSR. № 3790987/29-33 ; declared. 11.09.84 ; publ. 23.07.86. Bull. № 27, 1986. 5 p.
13. Inertial engine : auth. sert. № 939817 of the USSR. № 2872903/25-06 ; declared 22.01.80 ; publ. 30.06.82. Bull. № 24. 5 p.

УДК 693.547.3
Мухаметрахимов Рустем Ханифович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: muhametrahimov@mail.ru
Галаутдинов Альберт Радикович
кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: galautdinov89@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Гарафиев Айнур Маратович
руководитель группы отдела экспертиз и испытаний
E-mail: garafiev93@mail.ru
ООО ПИИ «Центр экспертиз и испытаний в строительстве»
Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Шмидта, д. 35

Электродный прогрев бетона с применением токопроводящего минерала

Аннотация

Постановка задачи. В технологии зимнего бетонирования, по мере протекания процессов гидратации и испарения части воды при электродном прогреве бетона, происходит увеличение его электрического сопротивления и, соответственно, затрат электроэнергии. При достижении бетоном 40 % марочной прочности дальнейший прогрев становится затруднителен и малоэффективен. В этой связи актуальным становится вопрос повышения эффективности электродного прогрева, решение которого позволит повысить качество бетонных конструкций и снизить затраты электроэнергии при производстве бетонных работ в зимнее время. Для этого авторами предлагается модифицировать состав бетонной смеси небольшим количеством токопроводящего минерала – шунгита. Цель данной работы состоит в изучении влияния молотого шунгита на показатели эффективности электродного прогрева бетона (температуры бетонной смеси, электрического сопротивления и прочности бетона) при зимнем бетонировании.

Результаты. Установлено, что модифицирование бетонной смеси молотым шунгитом способствует снижению электрического сопротивления бетона при электродном прогреве, увеличению температуры по сравнению с немодифицированным составом в первые сутки прогрева, а также увеличение темпов набора прочности бетона. Показано, что введение шунгита в состав бетонной смеси в количестве 1 % от массы цемента не приводит к существенному изменению кинетики тепловыделения цементного вяжущего, что свидетельствует об увеличении температуры бетонной смеси при электродном прогреве за счет токопроводящего минерала шунгита.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в повышении эффективности электродного прогрева бетона с применением токопроводящего минерала шунгита и возможности снижения материальных затрат на его осуществление в технологии зимнего бетонирования.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, электродный прогрев, бетон, токопроводящий минерал, шунгит.

Введение

В современных условиях строительства значительно возросли объемы монолитных работ в зимний период времени. Кроме того появление на строительном рынке новых конструктивно-технологических решений сборно-монолитных каркасных зданий [1] привело к повышению требований к качеству зимнего бетонирования. Основная особенность производства бетонных работ в зимний период времени (при температурах ниже +5ºС) заключается в необходимости набора бетоном критической прочности до начала процессов кристаллизации химически несвязанной воды [2], что позволяет исключить возникновение внутренних напряжений, разрушающих структуру бетона [3].

Для этого необходимо обеспечить положительную температуру бетонной смеси на период набора критической прочности [4].

Известны различные способы зимнего бетонирования, основанные на применении противоморозных добавок[1] [5], обогреве бетона термоактивной опалубкой [6], греющими проводами, инфракрасными лучами и др. [7, 8]. Возможно также применение комбинированных способов зимнего бетонирования. Так в работе [9] дается предположение о рациональности комбинированного безобогревного и обогревного методов бетонирования при отрицательных температурах, например, применение противоморозных добавок в сочетании с обогревом греющими проводами.

Особенности электродного прогрева бетона

Одним из относительно слабо эффективных методов искусственного прогрева бетона является электродный прогрев. Способ электродного прогрева бетонной смеси в конструкциях основан на использовании выделяемой теплоты при прохождении через него электрического тока [10]. Для электродного прогрева бетонных конструкций находят применение пластинчатые, полосовые, струнные и стержневые электроды. Различают сквозной электродный прогрев для конструкций значительной толщины или сложной формы (электроды размешаются внутри конструкции) и периферийный электродный прогрев для конструкций любой массивности (электроды размещаются на поверхности конструкций) [11]. В работе [12] показана эффективность электродного прогрева бетона дисперсно-армированного стальными фибрами, при этом существенный вклад в усредненную электропроводность вносит контактный слой фибра-бетона. Электропроводность смеси повышается пропорционально проценту фибрового армирования. Результаты исследований могут быть полезны при назначении режимов электропрогрева, а также при расчете удельной проводимости и коэффициента теплопроводности дисперсно-армированного бетона. Это в определенной степени позволяет сделать предположение об эффективности введения в бетонную смесь токопроводящего минерала при электродном прогреве [13]. В работе [14] показана возможность электротепловой обработки сборных бетонных и железобетонных изделий. Авторами отмечается, что результаты электротепловой обработки бетона в значительной степени зависят от величины и характера изменения градиентов температуры в объеме материала и динамики набора прочности бетоном, при этом существует возможность благоприятного управления величиной температурных градиентов в материале при электротепловой обработке путем изменения ее параметров.

Температурный режим прогрева разделяется на три стадии:

– подъем температуры бетона;

– изотермический прогрев: поддержание в бетоне заданной температуры; в большинстве случаев на стадии изотермического прогрева достигается критическая прочность бетона;

– остывание бетона в конструкции: при остывании до 0°С процессы структурообразования и набора прочности в бетоне продолжаются, что учитывается при бетонировании массивных конструкций.

Нарушение температурного режима прогрева может привести к пережогу бетона в результате перегрева бетонной смеси выше 100°С, недостаточному набору прочности, образованию локальных трещин и др. Напротив, недостаточный прогрев бетона или его отсутствие приводит к замерзанию химически несвязанной воды, возникновению внутренних напряжений, разрушающих структуру бетона и снижающих его прочность. На поверхности конструкций при этом образуются характерные следы «промороженного» бетона (рис. 1).

Входящие в состав бетона вяжущие и заполнители в сухом состоянии обладают высоким сопротивлением, а жидкая фаза бетона выступает проводником электрического тока. Количество и качество жидкой фазы в значительной степени влияет на изменение

[1]Мавлюбердинов А.Р., Изотов В.С., Нургатин И.И. Изучение механизмов влияния противоморозных добавок на свойства растворных смесей // Известия КГАСУ. 2014. № 2 (28). С. 173–178.

удельного сопротивления бетона. Если проследить за этими изменениями, то можно различить три основных стадии:

– понижение удельного сопротивления;

– постепенная стабилизация удельного сопротивления;

– прогрессирующее возрастание удельного сопротивления.

Этим трем стадиям соответствуют следующие стадии формирования бетона:

– растворение в воде минералов клинкера и насыщение жидкой фазы продуктами гидратации бетонной смеси;

– перенасыщение жидкой фазы, коллоидация и начало кристаллизации гидратных новообразований;

– формирование кристаллической матрицы, уплотнение структуры цементного камня и нарастание механической прочности бетона.

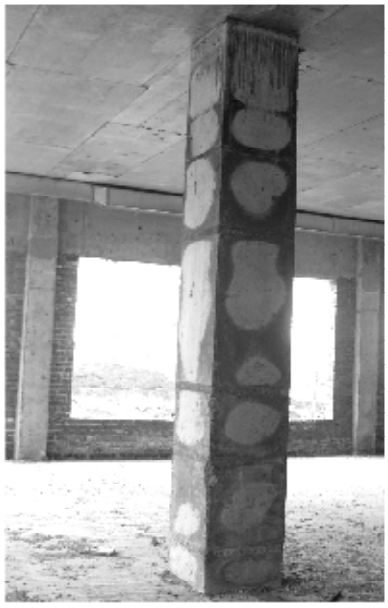


Рис. 1. Участки «промороженного» бетона колонны (иллюстрация авторов)

По мере протекания процессов гидратации бетонной смеси и испарения части воды при прогреве происходит увеличение сопротивления бетонной смеси и, соответственно, затрат электроэнергии. При достижении бетоном 40 % марочной прочности дальнейший прогрев становится затруднителен и в ряде случаев бетон не успевает набрать критическую прочность [15]. В этой связи актуальным становится вопрос повышения эффективности электродного прогрева, решение которого позволит повысить качество бетонных конструкций и снизить затраты электроэнергии при производстве бетонных работ в зимнее время [11].

На основании анализа литературных данных авторами сформулирована рабочая гипотеза, заключающаяся в возможности поддерживать оптимальное удельное сопротивление конструкции и, как следствие, в сокращении затрат электроэнергии и времени набора критичной прочности бетона за счет применении в составе бетонной смеси тонкомолотого токопроводящего материала – шунгита. Высокая электрическая проводимость шунгитовых пород обусловлена специфичным характером распределения углерода в объеме породы. Помимо токопроводящих свойств данный минерал характеризуется высокой прочностью, плотностью и химической стойкостью. Кроме того в работе [16] показано, что модифицирование шунгитовыми породами облицовочных материалов и изделий позволяет придать им радиозащитные свойства[2].

[2]Мухаметрахимов Р.Х., Шафигуллин Р.И., Куприянов В.Н. Разработка радиозащитных шунгитосодержащих гипсоволокнистых облицовочных листов // Известия КГАСУ. 2017. № 3 (41). С. 224–231.

Материалы и методы исследований

Для проверки предложенной гипотезы авторами были проведены экспериментальные исследования влияния содержания шунгита в составе бетонной смеси на изменение температуры, электрического сопротивления и прочности бетона при электродном прогреве. Твердение происходило в естественных условиях при температуре окружающей среды -15°С.

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 2 состава бетона:

– состав № 1 – контрольный состав (бетон класса В30 без добавления шунгита);

– состав № 2 – модифицированный состав (с добавлением шунгита в количестве 1 % от массы цемента).

Эксперимент проводился на образцах размерами 19×18×16,5 см. Твердение бетона происходило под воздействием электродного прогрева. Прочность бетона на сжатие определялась по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» на испытательном прессе ИП-1000. Электрическое сопротивление бетонных образцов при электродном прогреве определялось с помощью мультиметра, температура – с помощью ртутных термометров, погруженных в тело образцов. Наблюдения за результатами эксперимента производились в течение 115 часов с интервалом в 1 час. Для определения влияния шунгита на изменение температуры бетона при электродном прогреве изучена кинетика тепловыделения при гидратации цемента с использованием измерительного комплекса «Термохрон Ревизор DS1921» с частотой регистрации температуры равной 1 минуте. Для определения влияния токопроводящего минерала шунгита на гидратацию вяжущего исследована контракция портландцемента и прогноз его активности по методикам измерения МИ 2486-98 и МИ 2487-98 при помощи контракциометрического тестера активности цемента «Цемент-прогноз».

Результаты исследований

Зависимости температуры от времени гидратации исходного и модифицированного составов вяжущего приведены на рис. 2.

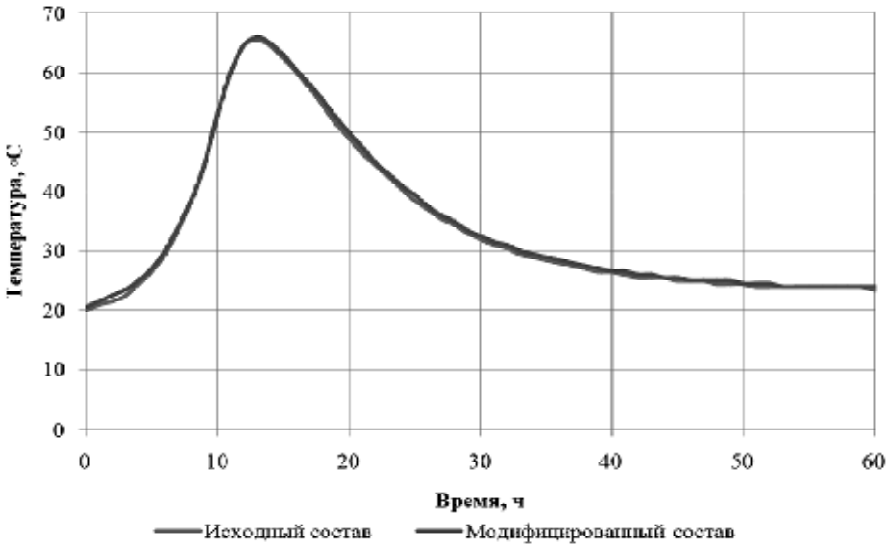


Рис. 2. Кинетика тепловыделения при гидратации
исходного и модифицированного составов вяжущего (иллюстрация авторов)

Как видно по рис. 2, введение шунгита в количестве 1 % от массы цемента не приводит к изменению кинетики тепловыделения модифицированного состава вяжущего, что свидетельствует об отсутствии его существенного влияния на процессы тепловыделения при гидратации цемента.

Результаты исследования контракции цемента за 8 часов свидетельствуют о замедлении процессов модифицированного состава вяжущего по сравнению с исходным.

Так величина контракции исходного состава составляет 8,15 мл, модифицированного тонкомолотым шунгитом – 5,18 мл.

Зависимость изменения температуры бетонных образцов исходного и модифицированного составов от времени их прогрева приведены на рис. 3.

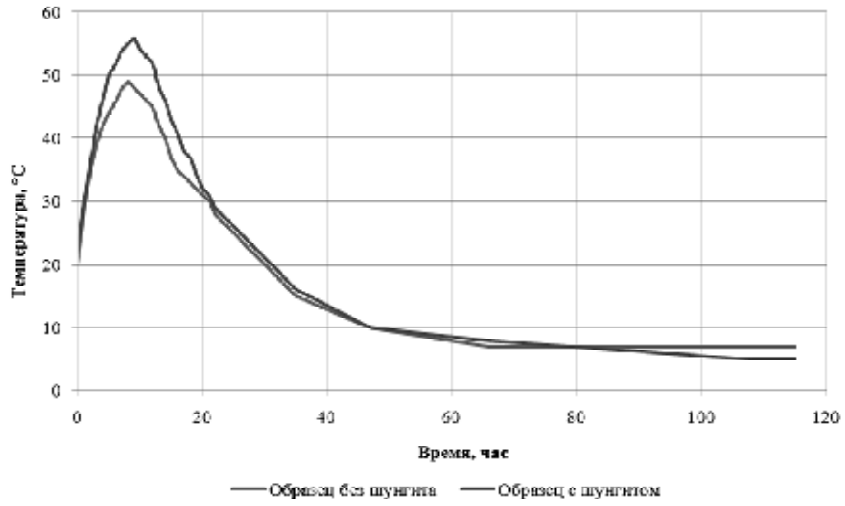


Рис. 3. Зависимость изменения температуры бетонных образцов исходного и модифицированного составов от времени их прогрева (иллюстрация авторов)

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рис. 3, свидетельствует об увеличении температуры модифицированного состава бетонной смеси по сравнению с исходным составом в интервале 0-20 часов электродного прогрева. В интервале 20-115 часов электродного прогрева температуры исходного и модифицированного составов бетона существенно не отличаются. Анализ и сопоставление результатов представленных на рис. 2-3 показывает, что введение шунгита в состав бетонной смеси в количестве 1 % от массы цемента не приводит к существенному изменению кинетики тепловыделения цементного вяжущего при его гидратации, что свидетельствует об увеличении температуры бетонной смеси при электродном прогреве за счет токопроводящих свойств минерала. Зависимости изменения сопротивления прогреваемых образцов бетона во времени приведены на рис. 4.

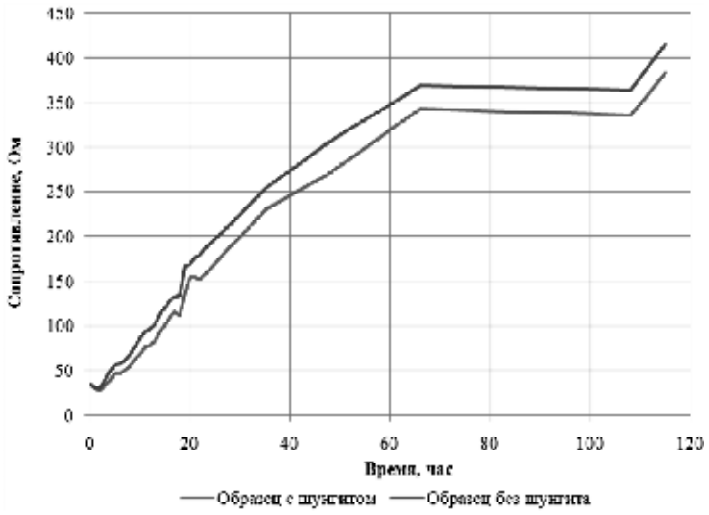


Рис. 4. График изменения сопротивления прогреваемых образцов бетона во времени (иллюстрация авторов)

На полученных диаграммах (рис. 4) можно наблюдать, что величина сопротивления электрического тока, в образце бетона, модифицированного шунгитом, меньше по сравнению с исходным составом. Это свидетельствует о повышении

эффективности электродного прогрева при введении шунгита в бетонную смесь. Кроме того, образец бетона, модифицированный шунгитом, в количестве 1 % от массы цемента, при прогреве в течение 115 часов набрал прочность 54,2 %, а образец без шунгита – 45,2 % от проектного класса В30. Результаты экспериментальных исследований, представленные на рис. 3-4, подтверждают сформулированную выше рабочую гипотезу.

Выполненные исследования показывают положительное влияние шунгитовых пород на эффективность электродного прогрева бетона. Это обусловлено снижением электрического сопротивления модифицированных бетонных образцов и увеличением температуры модифицированного состава бетонной смеси по сравнению с исходным составом в начальный период электродного прогрева, что приводит к интенсификации процессов гидратации и возрастанию прочности образцов.

Заключение

1. Анализ литературных данных свидетельствуют об эффективности введения в бетонную смесь токопроводящих материалов, позволяющих повысить эффективность электродного прогрева бетона.

2. Выявлено, что введение шунгита в количестве 1 % от массы цемента не приводит к существенному изменению кинетики тепловыделения цементного вяжущего, что свидетельствует об отсутствии влияния относительно небольшого содержания шунгитовых пород (1 %) на процессы его гидратации.

3. Определено, что контракция состава, модифицированного тонкомолотым шунгитом в количестве 1 % от массы цемента (5,18 мл), ниже величины контракции исходного не модифицированного состава (8,15 мл), что свидетельствуют о замедлении процессов его гидратации и подтверждает отсутствие влияния шунгита на повышение прочностных показателей бетона при электродном прогреве.

4. Установлено, что модифицирование бетонной смеси молотым шунгитом в количестве 1 % от массы цемента способствует увеличению температуры бетонной смеси по сравнению с исходным составом в интервале 0-20 часов электродного прогрева на величину до 8 ºС. Кроме того, наблюдается снижение электрического сопротивления модифицированной бетонной смеси при электродном прогреве и увеличение темпов набора прочности бетона. Так образец бетона, модифицированный шунгитом, после 115 часов прогрева набрал прочность 54,2 %, а образец без шунгита – 45,2 % от проектного класса В30. Полученные результаты свидетельствуют о повышении эффективности электродного прогрева бетона с шунгитом и снижении материальных затрат на его осуществление.

5. Выполненные исследования подтверждают рабочую гипотезу, заключающуюся в возможности поддерживать оптимальное удельное сопротивление бетонной конструкции при электродном прогреве и, как следствие, сократить затраты электроэнергии и время набора критической прочности бетона за счет применения в составе бетонной смеси тонкомолотого токопроводящего материала – шунгита.

6. Интерес для дальнейших исследований представляет изучение влияния содержания тонкомолотого шунгита в составе бетонных смесей на особенности структурообразования и свойства бетона, подвергнутого электродному прогреву, а также определение оптимальных режимов прогрева модифицированных составов.

Список библиографических ссылок

1. Крылов Б. А. Монолитное строительство, его состояние и перспективы совершенствования // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. Вып. 4. № 159. С. 35–38.
2. Головнев С. Г. Зимнее бетонирование: этапы становления и развития // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. 2013. Вып. 2. № 31. С. 529–534.
3. Zhang G., Haiyang Y., Huaming L., Yingzi Y. Experimental study of deformation of early age concrete suffering from frost damage // Constr. Build. Mater. Elsevier. 2019. Vol. 215. P. 410–421.

4. Семенов К. В., Барабанщиков Ю. Г. Термическая трещиностойкость массивных бетонных фундаментных плит и ее обеспечение в строительный период зимой // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2. С. 125–135.
5. Karagol F., Demirboga R., Khushefati W. H. Behavior of fresh and hardened concretes with antifreeze admixtures in deep-freeze low temperatures and exterior winter conditions // Constr. Build. Mater. 2015. Vol. 76. P. 388–395.
6. Мавлюбердинов А. Р., Сунгатуллина Г. А. Изучение процессов твердения бетонной смеси в термоактивной опалубке // Вестник Технологического университета. 2015. Вып. 18. № 7. Р. 181–183.
7. Brzhanov R. T., Pikus G. A., Traykova M. Methods of increasing the initial strength of winter concrete // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2018. Vol. 451. № 1.
8. Lazniewska-Piekarczyk B., Miera P. Frost Resistance of Concrete from Innovative Air-Entraining Cements // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019. Vol. 603. № 4.
9. Рязанова Г. Н., Попова Д. М. Применение комплекса из обогревного и необогревного способов выдерживания бетона в зимних условиях с позиции энергоэффективности // Наука молодых – будущее России. 2018. С. 238–241.
10. Кобылина М. А., Калошина С. В. Технологии зимнего бетонирования // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2017. Вып. 2. С. 214–223.
11. Ивахникова А. С. Электродный прогрев бетона : сб. ст. XXXI Международной научно-практической конференции WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS. Пенза, 2019. С. 68–70.
12. Матус Е. П. Численное моделирование электропрогрева дисперсноармированного бетона с фибрами высокой проводимости // Вестник евразийской науки. 2019. Вып. 2. № 11. С. 1–9.
13. Armoosh S. R., Oltulu M. Effect of Different Micro Metal Powders on the Electrical Resistivity of Cementitious Composites // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019. Vol. 471. № 3.
14. Федосов С. В., Бобылев В. И., Соколов А. М. Температурные характеристики электротепловой обработки бетона посредством электродного прогрева // Строительные материалы. 2011. № 12. С. 56–59.
15. Богатырева Т. В., Марьясов Р. С. Научное обоснование энергосберегающей технологии зимнего бетонирования буронабивных свай // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2010. № 3. С. 38–51.
16. Куприянов В. Н., Морозов О. Г., Насыбуллин А. Р., Шафигуллин Р. И. К исследованию ослабления электромагнитных волн ограждающими конструкциями зданий // Приволжский научный журнал. 2016. Вып. 1. № 37. С. 38–45.

Mukhametrakhimov Rustem Khanifovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: muhametrahimov@mail.ru
Galautdinov Albert Radikovich
candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: galautdinov89@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Garafiev Ajnur Maratovich
head of team of expert examination and testing department
E-mail: garafiev93@mail.ru
LLC PII «Centr ekspertiz i ispytanij v stroitel'stve»
The organization address: 420097, Russia, Kazan, Shmidta st., 1

Electric curing of concrete using conductive mineral

Abstract

Problem statement. Hydration and evaporation of water during electric curing of concrete leads to an increase in its electrical resistance and the cost of electricity. Further heating

becomes difficult and ineffective in achieving curing period corresponding to achieved 40 % of the compressive strength of concrete. Increasing the efficiency of electric curing of concrete is relevant in this regard. Solving this problem will improve the quality of concrete structures and reduce energy costs while cold weather concreting. The authors propose to modify the composition of the concrete mix with a small amount of a conductive mineral – shungite. The goal of this work is to study the effect of ground schungite on the performance indicators of electrode heating of concrete (concretemix temperature, electrical resistance and concrete strength) during cold weather concreting.

Results. It has been established that the modification of concrete mix with ground schungite leads to low electrical resistance of concrete with increasing temperature compared to unmodified composition in the first day of heating. It is shown that the introduction of shungite into the concrete mix in an amount of 1 % by weight of cement does not lead to a significant change in the kinetics of heat release of the cement binder, indicating an increase in the temperature of the concrete mixture during electric curing of concrete due to the conductive mineral shungite.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to increase the efficiency of electric curing of concrete using conductive mineral shungite and the possibility of reducing material costs in cold weather concreting.

Keywords: cold weather concreting, electric curing of concrete, concrete, conductive mineral, shungite.

References

1. Krylov B. A. Monolithic construction, situation and prospects for improvement // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2012. Vol. 4. № 159. P. 35–38.
2. Golovnev S. G. Cold water concreting: stages of formation and development // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. Ser. Stroitelstvo i arkhitektura. 2013. Vol. 2. № 31. P. 529–534.
3. Zhang G., Haiyang Y., Huaming L., Yingzi Y. Experimental study of deformation of early age concrete suffering from frost damage // Constr. Build. Mater. Elsevier. 2019. Vol. 215. P. 410–421.
4. Semenov K. V., Barabanshikov Y. G. Thermal crack resistance of massive concrete foundation slabs and its provision during the construction period in winter // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. № 2. P. 125–135.
5. Karagol F., Demirboga R., Khushefati W. H. Behavior of fresh and hardened concretes with antifreeze admixtures in deep-freeze low temperatures and exterior winter conditions // Constr. Build. Mater. 2015. Vol. 76. P. 388–395.
6. Mavlyuberdinov A. R., Sungatullina G. A. Studying the hardening processes of concrete mix in thermoactive formwork // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2015. Vol. 18. № 7. P. 181–183.
7. Brzhanov R. T., Pikus G. A., Traykova M. Methods of increasing the initial strength of winter concrete // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2018. Vol. 451. № 1.
8. Lazniewska-Piekarczyk B., Miera P. Frost Resistance of Concrete from Innovative Air-Entraining Cements // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019. Vol. 603. № 4.
9. Ryazanova G. N., Popova D. M. The use of a complex of heating and non-heating methods of curing concrete in winter conditions from the point of view of energy efficiency // Nauka molodyh – budushchee Rossii. 2018. P. 238–241.
10. Kobylina M. A., Kaloshina S. V. Cold weather concreting technologies // Sovremennyye tekhnologii v stroitelstve. Teoriya i praktika. 2017. Vol. 2. P. 214–223.
11. Ivahnikova A. S. Electrode heating of concrete // Digest of articles, XXXI International Scientific and Practical Conference WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS. 2019. P. 68–70.
12. Matus E. P. Numerical simulation of electric curing disperse-reinforced concrete with high conductivity fibers // Vestnik evraziyskoy nauki. 2019. Vol. 2. № 11. P. 1–9.

13. Armoosh S. R., Oltulu M. Effect of Different Micro Metal Powders on the Electrical Resistivity of Cementitious Composites // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019. Vol. 471. № 3.
14. Fedosov S. V., Bobylev V. I., Sokolov A. M. Temperature characteristics of electrothermal treatment of concrete by electric curing // Stroitelnyye materialy. 2011. № 12. P. 56–59.
15. Bogatyreva T. V., Maryasov R. S. Scientific substantiation of energy-saving technology for cold weather concreting of bored piles // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2010. № 3. P. 38–51.
16. Kupriyanov V. N., Morozov O. G., Nasybullin A. R., Shafigullin R. I. The Question of attenuation of electromagnetic waves by the building envelope // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2016. Vol. 1. № 37. P. 38–45.

УДК 620.169.2
Гайфутдинов Рустем Флюсович
заместитель начальника отдела лабораторного контроля
E-mail: 9600872235@mail.ru
ГКУ «Главтатдортранс»
Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75
Хафизов Эдуард Радикович
кандидат технический наук, доцент
E-mail: hafizov@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Апробация существующих методов оценки износостойкости щебня на примере каменных материалов, используемых в Республике Татарстан

Аннотация

Постановка задачи. Целью данного исследования является обзор различных методов оценки износостойкости каменных материалов, существующих на сегодняшний день, и используемых в дорожном строительстве. При этом следует дать оценку износостойкости материалов, используемых местными дорожно-строительными организациями в Республике Татарстан.

Результаты. Анализ основных методов исследования износостойкости щебня: Микро-Деваль, Nordic test и полочный барабан – показал взаимосвязь между методами Микро-Деваль и Nordic test. Была выявлена зависимость показателя износа от генезиса пород. Получены данные по показателям износа данными методами для каменных материалов различных карьеров и пород, используемых местными организациями в Республике Татарстан.

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для строительной отрасли состоит в возможности ориентирования при выборе каменного материала для строительства покрытий автомобильных дорог. Оценка существующих методов оценки износостойкости щебня позволит упростить изыскания и поможет в дальнейшем нормативном регулировании данного вопроса

Ключевые слова: каменные материалы, износостойкость, автомобильные дороги, Nordic test, Микро-Деваль, полочный барабан.

Введение

Вопросы поддержания надлежащего качества дорожно-транспортной сети являются первостепенными, как в условиях крупных регионов Российской Федерации, так и в условиях мелких.

К примеру, в Республике Татарстан к 2019 году выделено на поддержание программ дорожно-строительных работ около 30 млрд руб. Высокие объемы финансирования сохраняются на протяжении нескольких лет. Это влечет за собой закономерные требования по повышению уровня качества изысканий при проектировании дорожных одежд, что актуально в крупных населенных пунктах с высокими интенсивностями движения.

Одной из важнейших проблем дорожно-транспортного хозяйства является поддержание транспортно-эксплуатационного состояния покрытия на протяжении всего срока службы автомобильной дороги. Наиболее трудно прогнозируемым дефектом проезжей части является колея износа [1-3]. В настоящее время в нормативной базе Российской Федерации не существует достаточно полного документального обоснования данной проблемы, за исключением некоторых предварительных национальных стандартов.

Согласно исследованиям улично-дорожной сети г. Казани было выявлено, что на многих объектах с высокой интенсивностью движения отсутствует пластическая деформация покрытия, а превалирующее значение в возникновении дефектов проезжей части имеет износ покрытия в результате истирания.

Износ покрытия не только негативно сказывается на качестве автомобильной дороги. Данный процесс влечет за собой образование пыли и более крупных частиц материалов асфальтобетона. Данный факт был доказан некоторыми Российскими исследованиями [4, 5].

Исследования зарубежных компаний и, в частности, финской компании Saarela говорят о том, что большее внимание стоит уделять качеству минерального заполнителя асфальтобетонных смесей [6-8]. К таким же выводам пришли российские исследования [9]. Так за рубежом для контроля износостойкости щебня был введен метод испытаний Nordic Test.

В Республике Татарстан к местным подрядным организациям были предъявлены дополнительные требования, ограничивающие использование щебня, подверженного износу, на объектах с высокой интенсивностью движения. Так, стало запрещено использование щебня, показывающего показатель износа выше 10,4 % по методу испытания Nordic Test, регулируемого европейским стандартом EN 1097-9 и были предоставлены ориентировочные данные по данному показателю для материалов, используемых местными организациями. Ориентирование на европейские нормы при изыскательных работах распространено на данный момент в Российской Федерации.

В российском законодательстве существовали другие методы определения износостойкости минеральных заполнителей. Это методы испытания на полочном барабане и тест Микро-Деваль. Помимо него существует множество разработок, как, к примеру, динамический пульсирующий метод определения износостойкости щебня [10, 11].

Несмотря на большое разнообразие методов испытаний, нет единой системы оценки износостойкости щебня. В частности, к этому приводит недостаточная развитость данного вопроса и отсутствие опыта.

В связи с этим, в первую очередь перед данным исследованием встает задача изучения показателей износостойкости щебня, полученных разными методами. Необходимо изучить наиболее используемые в данной местности материалы с учетом их генезиса для создания примерной оценки качества каждой из применяемых пород и выявить закономерности, если они есть. Исследования каменных материалов могут дать предварительную примерную оценку качества породы на основе общих данных.

Для решения этих задач были проведены испытания каменных материалов на истираемость различными методами для более полной оценки полученных выводов.

Испытание в полочном барабане

В настоящее время в российской нормативной базе существует ряд стандартов, регулирующих требования к щебню и гравию из горных пород. Это ГОСТы 8267-93 и 32703-2014. Истираемость по ГОСТ 8267-93 или же сопротивление дроблению и износу по ГОСТ 32703-2014 определяют по потере массы зерен при испытании пробы в полочном барабане с шарами. Согласно ГОСТ 8267-93, данный метод производится согласно п. 4.10. ГОСТ 8269.0-97. Согласно ГОСТ 32703-2014 данное испытание производится по ГОСТ 33049-2014. Данный метод широко применялся на протяжении десятков лет на территории Советского Союза и зарекомендовал себя, как общепринятый метод оценки износостойкости щебня.

Суть метода заключается в том, что в барабане, длиной 500 мм и диаметром 700 мм происходит вращение навески каменного материала и абразивной нагрузки – стальных шаров, диаметром 48 мм и массой 405 гр каждый. При этом на внутренней стенке барабана находится стальная полка, шириной 100 мм. Испытание происходит при частоте вращения 30-33 об/мин и заканчивается при достижении 500 оборотов или, если происходит испытание фракции 20-40 по п. 4.10 ГОСТ 8269.0-97 1000 оборотов (рис. 1).

После завершения испытания полученный материал просеивается через контрольное сито малого диаметра и производится подсчет потери массы для оценки износостойкости щебня.

Рис. 1. Полочный барабан (иллюстрация авторов)

По ГОСТ 33049-2014 требования к установке некоторым образом отличаются: длина барабана составляет 497 ± 16 мм и диаметром 708 ± 8 мм, ширина полки на внутренней поверхности барабана составляет 94 ± 6 мм.

Подобным методом испытания является метод Лос-Анджелес, по AASHTO T 96-2, ASTM C 131-01 и EN 1097-2, где испытание происходит на установке Лос-Анджелес.

Установка Лос-Анджелес подобна полочному барабану, однако диаметр барабана равен 711 ± 5 мм, а длина равна 508 ± 5 мм, ширина полки составляет 89 ± 2 мм, т.е., в небольших пределах отличается.

Для каждой из вышеназванных методик испытаний существуют определенные массы испытуемых материалов, абразивных нагрузок и контрольных сит. В качестве используемого метода было выбрано определение истираемости в полочном барабане по п. 4.10. ГОСТ 8269.0-97, как наиболее широко используемый в практике.

Тест Микро-Деваль

Тест Микро-Деваль появился во Франции в 1960-м году. Затем он был принят в качестве стандарта AASHTO Standart TP58-00, «Standart Test Methods for Resistence of Coarse Aggregates to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus».

Многие исследования говорят о том, что испытания с крупной абразивной нагрузкой, вроде испытания на полочном барабане и установке Лос-Анджелес, не дают хороших результатов качества каменного материала, потому что высокая дистанция между большими стальными шарами не позволяет испытывать некоторые частицы инертного материала в испытательном барабане. Были проведены тесты, показывающие состоятельность метода Микро-Деваль для использования в дорожном строительстве.

В российском законодательстве данный метод представлен в ГОСТ 33024-2014.

Суть метода заключается в том, что в стальном барабане с гладкими стенками, диаметром 200 ± 1 мм и длиной 154 ± 1 мм, происходит вращение каменного материала и стальных шаров, диаметром 10 ± 0,5 мм и общей массой 4500 гр. Вращение происходит в воде, которая в количестве 2,5 ± 0,05 л вливается в барабан (рис. 2). В процессе испытание барабан вращается с частотой 100 ± 5 об/мин. По истечении 12000 ± 10 оборотов испытание прекращается.

Мерную пробу соединяют со стальными шарами и загружают в барабан. Общая масса мерной пробы вместе со стальными шарами должна составлять 5 кг. Затем в барабан заливают 2,5 литра воды. Затем его закрывают и устанавливают в испытательную установку. По истечению заданного времени щебень извлекают.

После завершения испытания полученный материал промывается через контрольное сито диаметром ячеек 1,6 мм и производится подсчет потери массы для оценки износостойкости щебня.

Рис. 2. Установка Микро-Деваль ТА-0620 (иллюстрация автора)

Nordic test

За рубежом повсеместно используется метод испытания каменных материалов, называемый испытанием в шаровой мельнице, так же называемый «Nordick test» или же «Скандинавское испытание» (рис. 3).

Рис. 3. Испытательная установка КМ-1 для испытания Nordic test (иллюстрация авторов)

Аналогично тесту Микро-Деваль данный тест направлен на более детальное исследование каменных материалов, в сравнении с более грубыми методами, каким является метод Los Angeles.

В российском законодательстве данный метод испытаний не задокументирован, однако в ряде организаций используется европейский стандарт EN 1097-9.

Суть метода заключается в том, что в барабане, диаметром 206,5 ± 2,0 мм и длиной 335 ± 1 мм, на внутренней поверхности которого находятся три ребра шириной 8 мм, происходит вращение испытательного материала фиксированного объема 377 см^3, абразивной нагрузки в виде стальных шаров диаметром 15,0 + 0,1-0,5 мм, массой 7000 ± 10 гр и 2 ± 0,01 л воды.

Отличием данного метода от прочих рассматриваемых, является переменная масса испытуемого материала. Испытания требуют фиксированного объема материала.

Вращение в барабане происходит с частотой 90 ± 3 об/мин. По истечении 5400 ± 10 оборотов испытание прекращают. Испытуемый материал извлекают из барабана и после удаления частиц меньше 2 мм и просушиванию определяют потерю массы в процентах.

Исследуемые материалы

В данной работе были рассмотрены каменные материалы с различных карьеров, которые применяются подрядными организациями Республики Татарстан при производстве дорожно-строительных работ. На данных карьерах добываются породы различного генезиса. Среди интрузивных пород: габбро, габбро-диабаз, диорит, габбро-диорит, перидотит, пироксенит, горнблендит; эффузивных: порфирит; метаморфических: серпентит; осадочного происхождения: доломит, известняк.

Анализ полученных данных

В таблице приведены средние результаты измерений потерь массы для пород с различных карьеров.

Таблица

Результаты измерений истираемости каменных материалов

ъ	Потеря массы в результате испытания, %.			Характеристика породы
	Nordic test (EN 1097-9)	Микро-Деваль (ГОСТ 33024-2014)	Полочный барабан (ГОСТ 8269.0-97)	
«Гумбейский»	6,4	5,2	9,2	гранодиорит, гранит
«Щелейка»	6,6	5,8	7,3	габбро, габбро-диабаз
«Западно-Каккаровский»	7,4	5,7	7,2	габбро-диабаз
«Сангалык»	8,7	7,4	5,2	габбро-диорит
«Бердяуш»	11,5	9,1	11,8	гранит, габбро-диабаз
«Орский»	11,0	6,8	6,1	габбро-диабаз
«Ураласбест»	13,4	8,8	7,8	перидотит, серпентит, диорит, габбро
«Качканар»	13,6	8,6	14,8	пироксенит, габбро, порфирит
«Дубровка» (Тимофеевское месторождение)	13,9	11,0	9,8	порфирит
«Миньяр»	17,8	12,8	17,2	доломит, известняк
«Сатка»	17,4	8,8	13,2	габбройды
«Биянка»	19,9	14,8	16,5	доломит
«Первоуральский»	23,1	16,8	9,2	габбро, горнблендит
«Геоинвест» (первый пласт)	18,1	13,2	17,6	габбро
«Геоинвест» (второй пласт)	13,5	11,1	7,0	габбро
«Кушвинский»	26,4	21,2	25,1	порфирит

4 карьера из представленных отвечают требованиям, предъявляемым к местным подрядным организациям в Республике Татарстан. 9 карьеров отвечают требованиям для марок по истираемости МД-1 по ГОСТ 33024-2014 и 14 карьеров из 15 имеют марку И1 по ГОСТ 8267-93. Очевидно, что рассматривать в качестве общепринятого метода определения сопротивления каменных материалов износу наиболее целесообразно первый метод, как более строгий.

Наблюдалась корреляция между генезисом пород и величиной потери массы при использовании всех трех испытаний. Так наибольшая потеря массы наблюдалась у изверженных пород эффузивного типа (порфирит) карьера «Кушвинский». Породы осадочного происхождения показали более хорошие результаты, однако наиболее высокой износостойкостью характеризовались изверженные породы интрузивного типа.

Но подобные по генезису породы могут показывать различные оценки износостойкости, как это видно на примере карьера «Геоинвест» по добыче габбро. Незначительные изменения в петрографическом составе пород в пределах двух соседних заделов повлияли на показатели износостойкости. Так испытание первой пробы материала показала потерю массы при испытании Nordic test 18,1 %, а второй 13,5 %. Данный пример свидетельствует о том, что испытание износостойкости щебня необходимо производить на регулярной основе при каждом приемо-сдаточном контроле материала.

При оценке результатов данных методов была выявлена зависимость между потерями массы при испытании по методу Nordic test и Микро-Деваль. На рис. 4 изображены результаты испытаний 35 материалов различных пород. При этом выявлена аппроксимационная зависимость в пределах между потерями массы по Nordic test от 5 до 27 %, выраженная полиномом третьей степени:

$$y = 0{,}0017x^3 - 0{,}0651x^2 + 1{,}3563x - 1{,}0239, \quad (1)$$

где y – потеря массы при испытании по методу Микро-Деваль;
x – потеря массы при испытании по методу Nordic Test.

При этом величина достоверности аппроксимации составляет 0,9092, что говорит об удовлетворительной степени достоверности. С учетом этого можно утверждать о том, что эти два метода могут быть взаимозаменяемы.

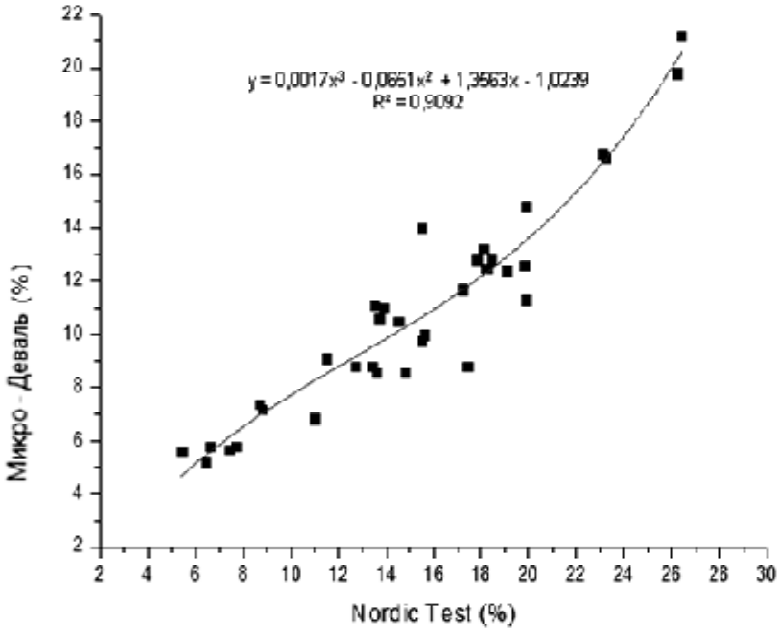


Рис. 4. Аппроксимационная зависимость между результатами тестов Nordic Test и Микро-Деваль (иллюстрация авторов)

Зависимость результатов потерь массы при испытании на полочном барабане между методами Микро-Деваль и Nordic Test не обнаружена. Это говорит о том, что данный метод не дает единой оценки износостойкости инертных материалов и допустим лишь при дублировании двумя другими методами испытаний.

Заключение

Впервые была исследована износостойкость каменных материалов, используемых дорожно-строительными организациями Республики Татарстан, а также оценена корреляция между методами Nordic test и Микро-Деваль (1).

Исследование наиболее распространенных каменных материалов позволит ориентироваться дорожно-строительным организациям при выборе той или иной породы или карьера для различных целей. Было выявлено, что не стоит при выборе ориентироваться лишь на генезис или же результаты прошлых испытаний, так как показатели износостойкости могут варьироваться в пределах одного месторождения.

Сравнение используемых методов при оценке износостойкости щебня показало корреляцию между методами Nordic test и Микро-Деваль. Это позволяет утверждать, что при составлении законодательных требований к материалам нет необходимости использовать оба метода оценки и сократить количество испытательных машин и время оценки материала.

Так же было выявлено, что использование общепринятого метода оценки износостойкости щебня по методу испытания в полочном барабане не отвечает

современным повышенным требованиям к материалам, что подтвердило выводы предыдущих исследований в этом направлении.

Список библиографических ссылок

1. Конорева О. В., Муравьев Ю. А. Анализ современных методов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий к колееобразованию // IVDON.RU : электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2016. № 4. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_31_Konoreva_Muravev.pdf_967f9d1a60.pdf (дата обращения: 20.10.2019).
2. Лугов С. В., Каленова Е. В. Возможности расчётной оценки износа покрытий при прогнозировании колееобразования // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2013. № 4 (35). С. 53–59.
3. Леднев А. В. Анализ факторов, влияющих на износостойкость асфальтобетона // IVDON.RU : электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2018. № 1. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_78_lednev.pdf_dffa3ad255.pdf (дата обращения: 20.10.2019).
4. Васильев Ю. Э., Ивачев А. В., Братищев И. С. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износному колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным // NAUKOVEDENIE.RU : интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 5 (24). URL: https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf (дата обращения: 25.10.2019).
5. Леванчук А. В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильных дорог // NAUKOVEDENIE.RU : интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 1 (20). URL: https://naukovedenie.ru/PDF/102TVN114.pdf (дата обращения: 27.10.2019).
6. Hannele Zubeck, Lynn Aleshire, Susan Harvey, Stan Porhola, Eric Larson. Socio-economic effects of studded tire use in Alaska. Final report // University of Alaska Anchorage. 2004. URL: http://dot.alaska.gov/stwddes/research/assets/pdf/stud-tire_socio-econ.pdf (дата обращения: 20.10.2019).
7. Brynhild Snilsberg, Rabbira Garba Saba, Nils Uthus. Asphalt pavement wear by studded tires – Effects of aggregate grading and amount of coarse aggregate : 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 2016. Prague, Czech Republic.
8. Jason P., Tremblay M. S., Jennifer M. V., Fitch P. E. Impacts of Studded Tires on Pavement and Associated Socioeconomics Final Report // Federal Highway Administration Division Office Federal Building Montpelier, VT 05602, February, 2011.
9. Фомин А. Ю., Хозин В. Г. Новые серосодержащие материалы для дорожного строительства // Строительные материалы. 2016. № 12. С. 80–82.
10. Kolos A., Konon A., Chistyakov P. Change of ballast strength properties during particle abrasive wear // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. P. 908–915.
11. Fisher S., Nemeth A. Special laboratory testing method for evaluation particle breakage of railway ballast material. Наука та прогрес транспорту // Вісник Дніпропетровського національного університету зализнічного транспорту 2018. № 2 (74). P. 87–97.

Gayfutdinov Rustem Flyusovich
deputy head of laboratory control department
E-mail: 9600872235@mail.ru
SPI «Glavtatdortrans»
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevskij st., 18/75
Hafizov Eduard Radikovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: hafizov@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Aprobation of existing methods for assessing the wear resistance of crushed stone by the example of stone materials used in the Republic of Tatarstan

Abstarct

Problem statement. The purpose of this study is to review various methods for assessing the wear resistance of stone materials that exist today and are used in road construction. At the same time, it is necessary to assess the wear resistance of materials used by local road-building organizations in the Republic of Tatarstan.

Results. An analysis of the main methods for studying the wear resistance of crushed stone: Micro-Deval, Nordic test and shelf drum – showed the relationship between the Micro-Deval and Nordic test methods. The dependence of the wear indicator on the genesis of the rocks was revealed. Obtained data on wear indicators using these methods for stone materials of various quarries and rocks used by local organizations in the Republic of Tatarstan.

Conclusion. The significance of the results obtained for the construction industry consists in the possibility to navigate when choosing stone material for the construction of road coatings. Evaluation of existing methods for assessing the wear resistance of crushed stone will simplify the survey and will help in further regulatory regulation of this issue.

Keywords: aggregates, abrasion resistance, roads, Nordic test, Micro-Deval, shelf drum.

References

1. Konoreva O.V., Muravev Yu. A. Analysis of modern methods for increasing the resistance of asphalt concrete pavements to rutting // IVDON.RU : electronic science journal «Inzhenernyj vestnik dona». 2016. № 4. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_31_Konoreva_Muravev.pdf_967f9d1a60.pdf (reference date: 20.10.2019).
2. Lugov S. V., Kalenova E. V. Possibilities of the estimated assessment of coating wear when forecasting rutting // Vestnik moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2013. № 4 (35). P. 53–59.
3. Lednev A. V. Analysis of factors affecting the wear resistance of asphalt concrete // IVDON.RU : electronic science journal «Inzhenernyj vestnik dona». 2018. № 1. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_78_lednev.pdf_dffa3ad255.pdf (reference date: 20.10.2019).
4. Vasilev Yu. E., Ivachev A. V., Bratishhev I. S. Study of the stability of road-building materials to wear rutting under conditions close to operational // NAUKOVEDENIE.RU : internet-journal «Naukovedenie». 2014. № 5 (24). URL: https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf (reference date: 25.10.2019).
5. Levanchuk A. V. Environmental pollution by products of road wear // NAUKOVEDENIE.RU : internet-journal «Naukovedenie». 2014. № 1 (20). URL: https://naukovedenie.ru/PDF/102TVN114.pdf (reference date: 27.10.2019).
6. Hannele Zubeck, Lynn Aleshire, Susan Harvey, Stan Porhola, Eric Larson. Socio-economic effects of studded tire use in Alaska. Final report // University of Alaska Anchorage. 2004. URL: http://dot.alaska.gov/stwddes/research/assets/pdf/stud-tire_socio-econ.pdf (дата обращения: 20.10.2019).
7. Brynhild Snilsberg, Rabbira Garba Saba, Nils Uthus. Asphalt pavement wear by studded tires – Effects of aggregate grading and amount of coarse aggregate : 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 2016. Prague, Czech Republic.
8. Jason P., Tremblay M. S., Jennifer M. V., Fitch P. E. Impacts of Studded Tires on Pavement and Associated Socioeconomics Final Report // Federal Highway Administration Division Office Federal Building Montpelier, VT 05602, February, 2011.
9. Fomin A. Yu., Khozin V. G. New sulfur-containing materials for road construction // Stroitelnye materialy. № 12. 2016. P. 80–82.
10. Kolos A., Konon A., Chistyakov P. Change of ballast strength properties during particle abrasive wear // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. P. 908–915.
11. Fisher S., Nemeth A. Special laboratory testing method for evaluation particle breakage of railway ballast material // Science and progress of transport. Vestnik DNUJT // 2018. № 2 (74). P. 87–97.

УДК 625.844
Мавлиев Ленар Фидаесович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru
Вдовин Евгений Анатольевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: vdovin007@mail.ru
Коновалов Никита Витальевич
ассистент
E-mail: for.inf@mail.ru
Хузиахметова Карина Рустамовна
инженер
E-mail: karina261996@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Шарапова Нелли Булатовна
инженер дорожного отдела
E-mail: nelly.gerlinger@yandex.ru
ООО «Новый Град»
Адрес организации: 420030, Россия, г. Казань, ул. Набережная, д. 11, оф. 204

Разработка дорожно-строительного материала на основе обработанной цементом щебеночно-песчаной смеси оптимального гранулометрического состава

Аннотация

Постановка задачи. В ряде регионов отсутствуют запасы прочного щебня, замена которого при строительстве автомобильных дорог обработанными местными материалами (обработанная цементом щебеночно-песчаная смесь, щебеночно-песчано-цементная смесь, «тощий» бетон, укатываемый бетон) – одно из перспективных направлений интенсификации и снижения стоимости дорожного строительства. Поэтому целью данной работы явилось получение оптимальных составов дорожно-строительных материалов на основе цемента и местного минерального сырья, непригодного или ограниченного в применении при устройстве дорожных одежд.

Результаты. Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы по применению обработанного минерального сырья при строительстве автомобильных дорог, определены свойства местного щебня, природного песка из отсевов дробления, а также установлены оптимальные составы обработанных материалов и возможность применения их в различных конструктивных слоях дорожных одежд.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в обосновании возможности применения непригодного или ограниченного в применении местного минерального сырья при получении обработанной цементом щебеночно-песчаной смеси оптимального гранулометрического состава. Разработаны дорожно-строительные материалы на основе местного минерального сырья марок по прочности М40, М60 и морозостойкости F25.

Ключевые слова: щебеночно-песчаная смесь оптимального состава, дорожная одежда, щебеночно-песчано-цементная смесь, укатываемый бетон, показатели стандартного уплотнения, физико-механические свойства.

Введение

В ряде регионов страны, в том числе в Республике Татарстан, отсутствуют запасы прочных каменных материалов. Замена привозного щебня при строительстве автомобильных дорог укрепленными грунтами и обработанными местными материалами – одно из перспективных направлений интенсификации и снижения стоимости дорожного строительства. Мировой и отечественный опыт позволяет сделать вывод об

эффективности и значительных преимуществах применения в конструкциях дорожных одежд местных укрепленных грунтов и обработанных материалов. Наиболее эффективно поддаются обработке вяжущим смеси из несвязных материалов с приданием им высокой прочности и морозостойкости. Известно, что при наличии несущего каркаса из щебенистых и песчаных частиц, заполнение пустот и укрепление возможно, как по принципу непрерывной, так и по принципу прерывистой гранулометрии.

Причинами, позволяющими повысить эффективность дорожного строительства с использованием обработанных местных материалов, являются: распространенность песков и щебней, непригодных или ограниченно пригодных для строительства автомобильных дорог; возможность получения материала с заранее заданными характеристиками, благодаря достаточно однородному составу и свойствам несвязных материалов по сравнению с глинистыми грунтами; доступность технологии обработки и наличие необходимой техники у большинства подрядных организаций.

Разработка эффективных материалов дорожных одежд автомобильных дорог из местных укрепленных грунтов и обработанных материалов позволит, наряду с техническими задачами, решить также приоритетные задачи по повышению транспортной доступности, социально-экономическому развитию, улучшению экологической ситуации и расширению номенклатуры сырьевой базы Республики Татарстан.

Обзор направлений исследований в области получения и применения обработанных цементом материалов

Разработка эффективных материалов для конструктивных слоев дорожных одежд на основе минерального сырья с использованием различных вяжущих и добавок является одним из перспективных направлений исследований в дорожном строительстве. Вопросам получения обработанных цементом щебеночно-песчаных смесей, «тощих» бетонов, укатываемых бетонов, посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых. На сегодняшний день среди исследований в этой области можно выделить следующие направления: модификация добавками [1-3], влияние свойств заполнителей [4], замена традиционных заполнителей и вяжущих [5-7], применение отходов в составе получаемых материалов [8, 9], зависимость «качественные характеристики – среда» [10, 11], влияние технологических факторов [12], эксплуатационные свойства [13-16]. Все представленные направления исследований важны для обобщения, систематизации и развития теоретических и практических основ получения и применения в дорожном строительстве искусственных цементосодержащих материалов с заранее заданными свойствами.

Ранее нами также были проведены исследования (Буланов П.Е., Мавлиев Л.Ф., Вдовин Е.А. Оптимизация состава щебеночно-песчаной смеси обработанной портландцементом в комплексе с пластифицирующей и гидрофобизирующей добавкой // Известия КГАСУ. 2015. № 2 (32). С. 300-305) и опытно-промышленное внедрение (Буланов П.Е., Мавлиев Л.Ф., Вдовин Е.А., Асадуллина А.Р., Гараева Ж.Б., Максимов В.Г. Опытно-промышленное внедрение щебеночно-песчаной смеси, обработанной портландцементом в комплексе с пластифицирующей и гидрофобизирующей добавкой при строительстве автомобильной дороги // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 346-351) обработанной цементом щебеночно-песчаной смеси, модифицированной комплексными добавками на основе поликарбоксилатных пластификаторов и кремнийорганических гидрофобизаторов, доказавшие техническую эффективность таких модификаторов. Практический интерес представляет изучение влияния вида и качества заполнителей на структуру и свойства получаемого обработанного материала.

Для обеспечения требуемой прочности и морозостойкости обработанного материала необходимо определить наиболее целесообразное соотношение компонентов смеси.

Основные этапы подбора составов смесей заключаются в следующем:

- определение основных характеристик исходных материалов и установление соответствие их свойств требованиям нормативной документации;

- приготовление смесей оптимального гранулометрического состава с различными расходами цемента с целью определения показателей стандартного уплотнения;

- изготовление образцов из полученных смесей (учитывая необходимую оптимальную влажность для получения максимальной плотности) с целью определения

необходимого количества цемента для получения обработанного материала требуемой марки по прочности и морозостойкости (в зависимости от области применения в конструкции дорожной одежды и погодно-климатических условий района строительства);

- определение показателей физико-механических свойств и минимального количества вяжущего, обеспечивающего, требуемые для конструктивного слоя, показатели прочности и морозостойкости.

Исследование показателей стандартного уплотнения и физико-механических свойств обработанной цементом щебеночно-песчаной смеси

Для приготовления образцов обработанных материалов применялся портландцемент ЦЕМІ 42,5Н ЗАО «Ульяновскцемент». В качестве местных минеральных материалов исследованы природный песок карьера «Сабанче» Альметьевского района Республики Татарстан и щебень карьера «Багряж» Альметьевского района Республики Татарстан.

Проба природного песка относится к очень мелкому (табл. 1), не соответствует нормативным требованиям по содержанию пылевидных и глинистых частиц – 7,30 %. Максимальная плотность скелета составила 1,61 г/см^3, оптимальная влажность – 13,4 %.

Таблица 1

Результат определения зернового состава и содержания пылевидных и глинистых частиц природного песка

Размер сит, мм	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,05	<0,05
Частный остаток, %	0	0	0,30	0,16	0,60	38,07	40,14	13,43	7,30
Полный остаток, %	0	0	0,30	0,46	1,06	39,13	79,27	92,70	100
Полные проходы, %	100	100	99,70	99,54	98,94	60,87	20,73	7,30	0

Щебень соответствует марке по дробимости М400, по морозостойкости F15, зерновой состав представлен в табл. 2.

Таблица 2

Результат определения зернового состава щебня

Размер сит, мм	20	15	12,5	10	5
Частный остаток, %	0,50	29,01	15,65	18,16	36,68
Полный остаток, %	0,50	29,51	45,16	63,32	100

Также испытана проба песка после дробления представленного щебня. Проба песка из отсевов дробления относится к очень крупному (табл. 3). Максимальная плотность скелета составила 1,59 г/см^3, оптимальная влажность – 8,32 %.

Таблица 3

Результат определения зернового состава и содержания пылевидных и глинистых частиц песка из отсевов дробления

Размер сит, мм	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,05	<0,05
Частный остаток, %	0	0	71,73	19,29	4,98	2,07	1,03	0,74	0,16
Полный остаток, %	0	0	71,73	91,02	96,00	98,07	99,10	99,84	100
Полные проходы, %	100	100	28,27	8,98	4,00	1,93	0,90	0,16	0

На основе проведенных испытаний местного минерального сырья определено, что представленный природный песок в естественном виде непригоден для устройства дорожных одежд, а щебень имеет невысокую прочность, что ограничивает область его применения.

В ходе исследований определены показатели стандартного уплотнения и физико-механических свойств щебеночно-песчаных смесей, обработанных цементом при различном содержании заполнителя и вяжущего. Данные исследования не вошли в представленную статью и будут опубликованы отдельно.

На представленном этапе исследования для сокращения расхода цемента подобран оптимальный зерновой состав щебеночно-песчаной смеси по ГОСТ 23558. Оптимальный зерновой состав щебеночно-песчаной смеси был получен при смешении природного

песка, песка из отсевов дробления и щебня в соотношении 30/30/40. В результате получена смесь с максимальной крупностью зерен 20 мм (табл. 4).

Таблица 4

Зерновой состав подобранной оптимальной щебеночно-песчаной смеси

Размер сит, мм	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,05	<0,05
Частный остаток, %	0,20	25,13	14,67	21,61	5,94	1,67	12,05	12,35	3,55	1,93
Полный остаток, %	0,20	25,33	40,00	61,61	67,45	70,12	82,17	94,52	98,07	100

Портландцемент вводился в щебеночно-песчаную смесь в количестве 6, 8 и 10 % от массы смеси (далее щебеночно-песчано-цементная смесь – ЩПЦС).

Из рис. 1 видно, что при увеличении количества портландцемента от 6 % до 10 % плотность скелета ЩПЦС возрастает от 2,07 г/см^3 до 2,19 г/см^3 и оптимальная влажность уменьшается от 6,74 % до 5,47 %.

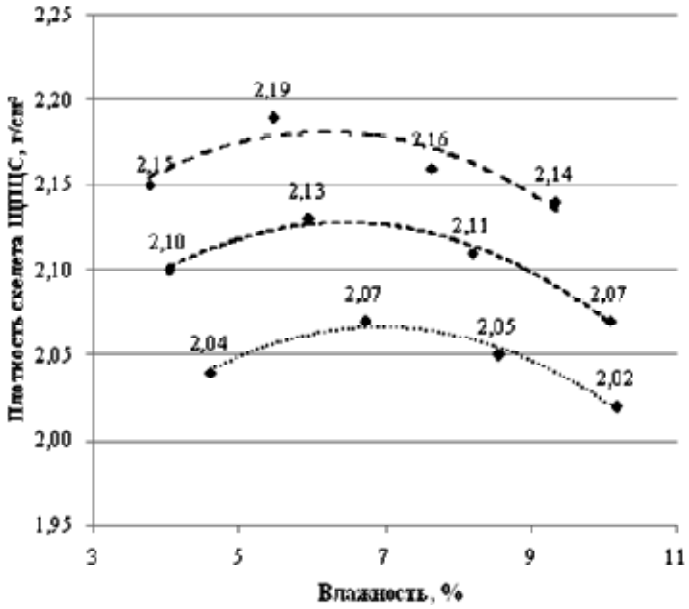


Рис. 1. Зависимость плотности ЩПЦС от влажности при различном содержании цемента (иллюстрация авторов):
····· 6 % – – – 8 % — — — 10 %

Максимальная плотность скелета ЩПЦС содержащая 6 % цемента составила – 2,07 г/см^3, 8 % – 2,13 г/см^3, 10 % – 2,19 г/см^3. Введение 6 % цемента способствовало достижению оптимальной влажности – 6,74 %, 8 % – 5,96 %, 10 % – 5,47 %.

После определения максимальной плотности и оптимальной влажности смесей, приготавливались образцы и испытывались по истечении 28 суток набора прочности.

Из рис. 2 видно, что при увеличении количества портландцемента от 6 % до 10 % прочность на сжатие возрастает от 5,09 до 8,57 МПа, прочность на растяжение при изгибе от 1,15 до 1,49 МПа, коэффициент морозостойкости от 0,83 до 0,94.

При введении 6 % цемента в состав смеси достигается марка по прочности М40 и морозостойкости F25, а при 8 % цемента – марка по прочности М60 и морозостойкости F25.

В результате исследований получены материалы марок по прочности М40, М60 и морозостойкости F25 (табл. 5).

Составы из подобранной оптимальной смеси природного песка (30 %), песка из отсевов дробления (30 %) и щебня (40 %), обработанного портландцементом (6 и 8 %), пригодны для оснований всех типов дорожных одежд и покрытий переходного типа в климатических условиях Республики Татарстан.

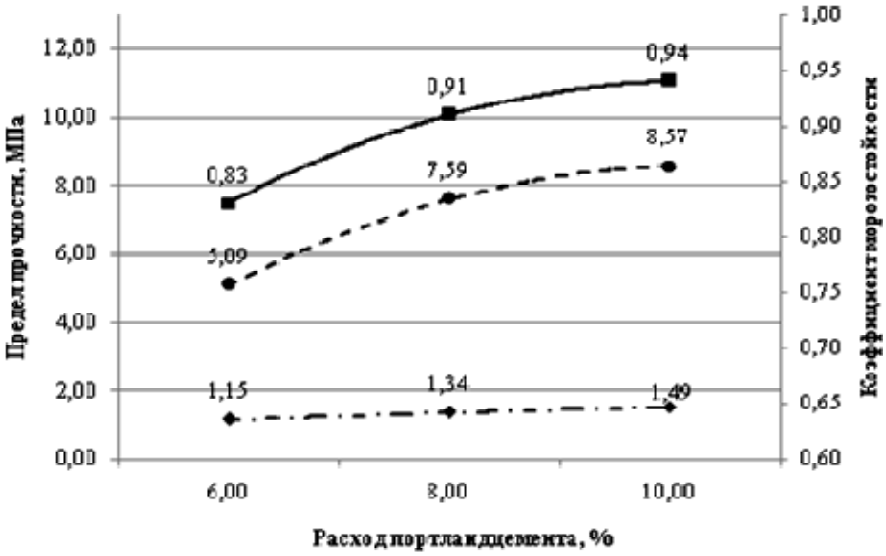


Рис. 2. Зависимость предела прочности на сжатие ($R_{сж}$),
предела прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$),
коэффициента морозостойкости ($К_{мор}$) образцов ЩПЦС от расхода цемента (в возрасте 28 сут.)
(иллюстрация авторов):
– – – – $R_{сж}$ – · – · – $R_{изг}$ —— $К_{мор}$

Таблица 5

Характеристики разработанных составов ЩПЦС и область их применения

№	Исходные материалы	Марка по прочности	Марка по морозостойкости	Тип дорожной одежды	Покрытие со слоем износа	Основание
А	Природный песок – 30 %; Песок из отсевов дробления – 30 %; Щебень – 40 %; Портландцемент – 6 %;	М40	F25	Капитальный	Не применяют	+
				Облегченный	Не применяют	+
				Переходный	+	+
Б	Природный песок – 30 %; Песок из отсевов дробления – 30 %; Щебень – 40 %; Портландцемент – 8 %;	М60	F25	Капитальный	Не применяют	+
				Облегченный	Не применяют	+
				Переходный	+	+

Для сравнительной оценки применения обработанных цементом местных материалов взамен привозных каменных запроектированы в соответствии с ПНСТ 265-2018 три варианта конструкций при равных условиях и нагрузках: I вариант – с основанием из обработанной цементом щебеночно-песчаной смеси М40, II вариант – с основанием из обработанной цементом щебеночно-песчаной смеси М60, III вариант – с основанием из трудноуплотняемого щебня. Конструкция для расчета дорожной одежды с представленными вариантами основания показана на рис. 3.

Конструктивные слои, удовлетворяющих критериям расчета дорожных одежд, для I варианта следующие:

1) ЩМА (щебеночно-мастичный асфальтобетон) с размером зерен 16 мм и более, на БНД 70/100 – 5 см;

2) АБ (асфальтобетон) ТР ТС с размером зерен 16 мм и более, на БНД 70/100 – 5 см;

3) АБ ТР ТС с размером зерен 22,4 мм и более, на БНД 70/100 – 7 см;

4) Щебеночно-песчаная смесь, обработанная цементом, М40 – 21 см;

5) Песок средней крупности – 30 см;

Грунт земляного полотна – Легкий суглинок.

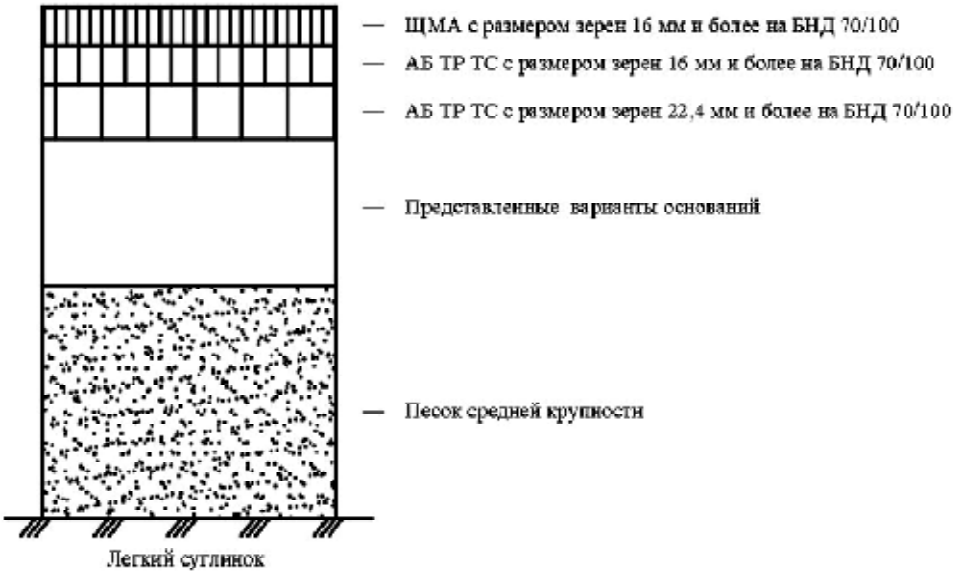


Рис. 3. Конструкция для расчета дорожной одежды с различными вариантами слоя основания (иллюстрация авторов)

Для II варианта в качестве 4 слоя принята также щебеночно-песчаная смесь, обработанная цементом, но соответствующая марке М60. Толщина слоя обработанного материала при этом составила 19 см, остальные слои остались без изменения.

По III варианту расчета изменения более значительны. Конструкция, удовлетворяющая критериям расчета, следующая:

1) ЩМА с размером зерен 16 мм и более, на БНД 70/100 – 5 см;

2) АБ ТР ТС с размером зерен 16 мм и более, на БНД 70/100 – 6 см;

3) АБ ТР ТС с размером зерен 22,4 мм и более, на БНД 70/100 – 10 см;

4) Щебень (трудноуплотняемый) фракции 31,5-63 мм, с заклинкой фракционированным мелким щебнем – 30 см;

5) Песок средней крупности – 30 см.

Расчеты показали, что применение обработанной цементом щебеночно-песчаной смеси М60 вместо М40 позволяет незначительно снизить толщину данного слоя основания. Однако, при устройстве основания из щебня, увеличивается не только толщина данного слоя, но и толщины асфальтобетонных слоев. Одной из работ, планируемых в дальнейшем авторами, является сравнение стоимости устройства дорожной одежды с применением представленных материалов, а также материалов, модифицированных различными добавками.

Заключение

На сегодняшний день среди исследований в области получения и применения обработанных цементом материалов можно выделить следующие направления: модификация добавками, влияние свойств заполнителей, замена традиционных заполнителей и вяжущих, применение отходов в составе получаемых материалов, зависимость «качественные характеристики – среда», влияние технологических факторов, эксплуатационные свойства.

Получение щебеночно-песчаной смеси оптимального гранулометрического состава для дальнейшей обработки цементом является одним из возможных способов расширения области применения непригодного или ограниченного в применении местного минерального сырья. Разработаны дорожно-строительные материалы на основе местного минерального сырья марок по прочности М40, М60 и морозостойкости F25.

Список библиографических ссылок

1. Mohammed B. S., Adamu M. Non-destructive evaluation of nano silica-modified roller-compacted rubbercrete using combined SonReb and response surface methodology // Road Materials and Pavement Design. 2019. № 20 (4). P. 815–835.
2. Даваасенгэ С. С., Буренина О. Н. Физико-механические свойства наномодифицированных «тощих» бетонов для устройства оснований дорожной одежды // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 74. С. 62–73.
3. Сизонец С. В. Исследование ползучести образцов из «тощего бетона» с добавлением резиновой крошки // Известия Ростовского государственного строительного университета. 2010. Т. 1. № 14 (14). С. 312.
4. Hashemi M., Shafigh P., Abbasi M., Asadi I. The effect of using low fines content sand on the fresh and hardened properties of roller-compacted concrete pavement /Case Studies in Construction Materials. 2019. № 11. № 00230.
5. Olofinnade O. M., Ede A. N., Ndambuki J. M., Ngene B. U., Akinwumi I. I., Ofuyatan O. Strength and microstructure of eco-concrete produced using waste glass as partial and complete replacement for sand // Cogent Engineering. 2018. № 5 (1). P. 1–19.
6. Буренина О. Н., Давыдова Н. Н., Андреева А. В., Даваасенгэ С. С., Саввинова М. Е. Механоактивационные методы модификации «тощего» бетона с использованием лежалого цемента для устройства оснований дорожной одежды // Естественные и технические науки. 2015. № 11 (89). С. 604–608.
7. Rakhimov R. Z., Gayfullin A. R., Rakhimova N. R., Morozov V. P. Effect of the addition of thermally activated heavy loam to portland cement on the properties of cement stone // Inorganic Materials: Applied Research. 2018. Т. 9. № 4. P. 679–686.
8. Khoury C., Acheampong K. B., Ofori-Awuah K. Mix Design of Roller Compacted Concrete Pavement Using Steel Slag By-Products // Geotechnical Special Publication. 2019. № 2019-March (GSP 310). P. 391-401.
9. Debbarma S., Ransinchung R. N. G. D., Singh S. Feasibility of roller compacted concrete pavement containing different fractions of reclaimed asphalt pavement // Construction and Building Materials. 2019. № 199. P. 508-525.
10. Kiza Rusati P., Song K.-I. Magnesium chloride and sulfate attacks on gravel-sand-cement-inorganic binder mixture // Construction and Building Materials. 2018. № 187. P. 565–571.
11. Матуа В. П., Сизонец С. В. Повышение морозостойкости укрепленных минеральными вяжущими щебеночно-песчаных смесей // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4-1 (22). С. 164.
12. Şengün E., Alam B., Shabani R., Yaman I.O. The effects of compaction methods and mix parameters on the properties of roller compacted concrete mixtures // Construction and Building Materials. 2019. № 228. № 116807
13. Ren D., Song H., Huang C., Xiao C., Ai C. Comparative evaluation of asphalt pavement dynamic response with different bases under moving vehicular loading // Journal of Testing and Evaluation. 2020. № 48 (3). № JTE20190299.
14. Xu X., Yang J., Wu C., Zhang X. Dynamic response of roller-compacted concrete-base asphalt pavement // CICTP 2019: Transportation in China-Connecting the World-Proceedings of the 19th COTA International Conference of Transportation Professionals. 2020. P. 893–904.
15. Корочкин А. В. Влияние основания дорожной одежды из укатываемого (тощего) бетона на жесткость конструкции // Транспортное строительство. 2018. № 3. С. 18–21.
16. Матуа В. П., Сизонец С. В., Матуа Р. В. Исследование укрепленных щебеночно-песчаных смесей на накопление остаточных деформаций под воздействием динамических нагрузок // Вестник ВГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 30 (49). С. 154–161.

Mavliev Lenar Fidaesovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru
Vdovin Evgeny Anatolyevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: vdovin007@mail.ru
Konovalov Nikita Vitalievich
assistant
E-mail: for.inf@mail.ru
Khuziahmetova Karina Rustamovna
engineer
E-mail: karina261996@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya str., 1
Sharapova Nelli Bulatovna
road department engineer
E-mail: nelly.gerlinger@yandex.ru
LLC «Novy Grad»
The organization address: 420030, Russia, Kazan, Naberezhnaya st., 11, of. 204

Development of road-building material based on gravel-sand-cement mixture with optimal granulometric composition

Abstract

Problem statement. In many regions there are no stocks of strong crushed stone which replacement at construction of highways by the processed local materials (the gravel-sand mixture with cement, gravel-sand-cement mixture, «lean» concrete, roller-compacted concrete) – one of perspective directions of intensification and decrease in cost of road construction. Therefore, the purpose of this work was to obtain optimal compositions of road-building materials based on cement and local mineral raw materials, unsuitable or limited in use in the device of road surfaces.

Results. The analysis of domestic and foreign literature on the use of processed mineral raw materials in the construction of roads, the properties of local gravel, natural sand and sand from crushed gravel, as well as the optimal compositions of processed materials and the possibility of using them in various structural layers of road surfaces.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to justify the possibility of using unsuitable or limited in the use of local mineral raw materials in the preparation of gravel-sand-cement mixture of optimal granulometric composition. Road-building materials based on local mineral raw materials of M40, M60 and F25 strength grades have been developed.

Keywords: gravel-sand mixture of optimal composition, pavement, gravel-sand-cement mixture, roller-compacted concrete, indicators of standard compaction, physical and mechanical properties.

References

1. Mohammed B. S., Adamu M. Non-destructive evaluation of nano silica-modified roller-compacted rubbercrete using combined SonReb and response surface methodology // Road Materials and Pavement Design. 2019. № 20 (4). P. 815–835.
2. Davaasenge S. S., Burenina O. N. Physical and mechanical properties of nanomodified «lean» concretes for the device of bases of road clothes // Polymatichesky setevoy elektronny jurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. № 74. P. 62–73.

3. Sizonetc S. V. Study of creep of samples of «lean concrete» with the addition of crumb rubber // Izvestya Rostovskogo gosudarstvennogo stroytelnogo universiteta. 2010. T. 1. № 14 (14). P. 312.
4. Hashemi M., Shafigh P., Abbasi M., Asadi I. The effect of using low fines content sand on the fresh and hardened properties of roller-compacted concrete pavement /Case Studies in Construction Materials. 2019. № 11. № 00230.
5. Olofinnade O. M., Ede A. N., Ndambuki J. M., Ngene B. U., Akinwumi I. I., Ofuyatan O. Strength and microstructure of eco-concrete produced using waste glass as partial and complete replacement for sand // Cogent Engineering. 2018. № 5 (1). P. 1–19.
6. Burenina O. N., Davydova N. N., Andreeva A. V., Davaasenga S. S., Savvinova M. E. Mechanoactivation methods of modification of «lean» concrete with the use of stale cement for the device of the bases of road clothes // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2015. № 11 (89). P. 604–608.
7. Rakhimov R. Z., Gayfullin A. R., Rakhimova N. R., Morozov V. P. Effect of the addition of thermally activated heavy loam to portland cement on the properties of cement stone // Inorganic Materials: Applied Research. 2018. T. 9. № 4. P. 679–686.
8. Khoury C., Acheampong K. B., Ofori-Awuah K. Mix Design of Roller Compacted Concrete Pavement Using Steel Slag By-Products // Geotechnical Special Publication. 2019. № 2019-March (GSP 310). P. 391–401.
9. Debbarma S., Ransinchung R. N. G. D., Singh S. Feasibility of roller compacted concrete pavement containing different fractions of reclaimed asphalt pavement // Construction and Building Materials. 2019. № 199. P. 508–525.
10. Kiza Rusati P., Song K.-I. Magnesium chloride and sulfate attacks on gravel-sand-cement-inorganic binder mixture // Construction and Building Materials. 2018. № 187. P. 565–571.
11. Matua V. P., Sizonetc S. V. Increasing frost resistance of crushed stone and sand mixtures reinforced with mineral binders // Ingenerny vestnik Dona. 2012. № 4-1 (22). P. 164.
12. Şengün E., Alam B., Shabani R., Yaman I. O. The effects of compaction methods and mix parameters on the properties of roller compacted concrete mixtures // Construction and Building Materials. 2019. № 228. № 116807.
13. Ren D., Song H., Huang C., Xiao C., Ai C. Comparative evaluation of asphalt pavement dynamic response with different bases under moving vehicular loading // Journal of Testing and Evaluation. 2020. № 48 (3). № JTE20190299.
14. Xu X., Yang J., Wu C., Zhang X. Dynamic response of roller-compacted concrete-base asphalt pavement // CICTP 2019: Transportation in China-Connecting the World-Proceedings of the 19th COTA International Conference of Transportation Professionals. 2020. P. 893–904.
15. Korochkin A. V. The effect of the base of the roadway from the rolled (skinny) concrete on the rigidity of the structure // Transportnoye stroitel'stvo. 2018. № 3. P. 18–21.
16. Matua V. P., Sizonets S. V., Matua R. V. Study of reinforced gravel-sand mixtures on the accumulation of residual deformations under the influence of dynamic loads // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. Serya: Stroytelstvo I arkhitektura. 2013. № 30 (49). P. 154–161.

УДК 625.7+519.2+519.85
Майстренко Игорь Юрьевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: igor_maystr@mail.ru
Зиннуров Тагир Альмирович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: leongar@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Майстренко Татьяна Игоревна
специалист по промышленной безопасности
E-mail: maystrenko1496@mail.ru
Егорова Ирина Юрьевна
инженер-проектировщик
E-mail: risha9210@gmail.com
Ерохин Дмитрий Игоревич
техник-проектировщик
E-mail: erokhin1604@mail.ru
ООО Научно-производственный центр «Строй-Экспертиза»
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Калинина, д. 48, оф. 506А

Оценка ресурсных показателей автодорожных мостов на основе анализа структурных изменений и накопления повреждений в конструктивных элементах

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработать обобщенный алгоритм анализа структурного состояния материала конструктивных элементов мостовых сооружений, позволяющий за счет выбора контрольных и управляемых факторов дать оценку ресурсных показателей мостовых сооружений.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в анализе величин условных вероятностей отказов в характерных точках времени эксплуатации (на момент оценки, на глубину до следующего планового обследования и на глубину до ожидаемого исчерпания проектного ресурса), которые характеризуют резервы несущей способности системы по условиям статической прочности и усталостной прочности (выносливости).

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в совершенствовании и оптимизации процедур расчета стальных конструкций автодорожных мостов на прочность и выносливость.

Ключевые слова: автодорожный мост, стальная конструкция, выносливость, анализ структурного состояния, ресурс, транспортный поток.

Введение

Общая концепция определения эксплуатационной пригодности конструкций, эксплуатация которых проходила длительное время в неблагоприятных условиях среды, не всегда позволяет с приемлемым уровнем достоверности своевременно оценить несущую способность ответственных элементов технических систем после определенной наработки. Это связано с тем, что для большинства малых и средних мостов система мониторинга или отсутствует, или не обладает должным уровнем информативности. Обследования зачастую носят периодический, а иногда и «запаздывающий» характер, в силу чего эксплуатация отдельных элементов металлоконструкций происходит в условиях, близких к предельным, а оперативное выявление таких условий не всегда своевременно, что может привести к возникновению аварийных ситуаций.

Одним из перспективных направлений оценки ресурса безопасной эксплуатации технических устройств и строительных конструкций является инженерное направление,

базирующееся на магнитных методах неразрушающего контроля, в частности – на контроле напряженного состояния строительных сталей по коэрцитивной силе. Указанный метод позволяет оперативно оценивать переход стали из упругой в упругопластическую и пластическую зону деформации. Таким образом, разработка и последующая апробация модели оценки ресурса безопасной эксплуатации мостовых сооружений по коэрцитивной силе представляет собой достаточно актуальную задачу.

Вопросам разработки методических приемов использования магнитного контроля напряженно-деформированного состояния для оценки ресурса безопасной эксплуатации технических устройств и строительных конструкций посвящены работы Б.Е. Попова [1], М.А. Мельгуй [2], Г.В. Бида, Э.С. Горкунова, В.М. Шевнина [3], В.М. Мацевитого, Г.Я. Безлюдько, К.В. Вакуленко, И.Б. Казака, В.В. Карабина [4], С.С. Родионовой [5], А.И. Ульянова [6-8] и других авторов [9, 10], характер изменения напряжений в стальной балке представлен в работе Ф.С. Замалиева [11]. При этом отмечено, что подобные задачи решаются применительно к конструкциям, изготовленным, как правило, из сталей в состоянии поставки, имеющих мало искаженную кристаллическую структуру, низкий уровень деформативности и значительный запас пластичности, а также приведены результаты исследования корреляционных связей, позволяющих оценивать по магнитным характеристикам структуру и механические свойства изделий из сталей у различных классов после закалки и отпуска, изотермической закалки, деформационной и деформационно-термической обработок.

Обобщенный алгоритм анализа структурного состояния материала конструктивных элементов мостовых сооружений

В общем виде алгоритм анализа структурного состояния материала конструктивных элементов мостовых сооружений состоит из шести основных этапов.

На первом этапе разрабатывается программа обследования мостового сооружения (определяются цели и задачи, объем и зоны контроля, порядок и методы контроля, а также определяются начальные условия для достижения искомых показателей).

На втором этапе проводится изучение проектной, исполнительной и эксплуатационной документации на объект контроля (выбираются исходные данные об объекте контроля, включая сведения об использованной стали, ее физико-механических и магнитных характеристиках, сведения о ремонтах/реконструкции отдельных узлов, деталей и др.).

На третьем этапе проводится натурный осмотр объекта (выявляются и оцениваются зоны, имеющие видимые дефекты и повреждения, для их последующего включения в план инструментального контроля).

На четвертом этапе проводится инструментальный контроль объекта с использованием методов магнитного (коэрцитиметрический контроль) и акустического (ультразвуковой контроль) видов (собираются выборочные данные для последующего анализа). При магнитном контроле замеры производятся вдоль и поперек листового проката под углом 90^0. В случае выявления опасных дефектов, объем контроля корректируется в сторону увеличения (индивидуальный показатель).

На пятом этапе проводится комплексный анализ полученных результатов визуального и инструментального контроля (оценка статистических характеристик выборочных данных, корреляционный анализ параметров отклика, оценка сходимости теоретических предпосылок расчетных моделей с данными инструментального контроля).

На шестом этапе выполняется прогноз изменчивости выходных параметров (коэрцитивной силы, числа нагружений, процессов деградации, вероятности отказов) на глубину времени – до очередного обследования/ремонта/реконструкции/утилизации. Разработка необходимых мероприятий по изменению (в случае необходимости) режима работы объекта (интенсивности движения, грузоподъемности и др.).

Выбор контрольных и управляемых факторов для оценки ресурсных показателей эксплуатируемых мостовых сооружений

Контрольные и управляемые факторы, выделенные для оценки ресурсных показателей эксплуатируемых мостовых сооружений, сгруппированы по наиболее значимым процедурам.

1. Процедура планирования выборочного наблюдения:

- определение начальных условий для достижения искомых показателей – начальные условия выбираются так, чтобы сократить время T достижения цели эксперимента, min(T);

- ввод значения требуемого уровня достоверности $\beta \geq 0{,}95$;

- ввод значения степени точности $\alpha \leq 0{,}05$;

- оценка дисперсии $D \leq 0{,}25$;

- оценка минимальной численности выборки n, обеспечивающей заданную точность α и достоверность β, $n = \frac{D^2 \times t_p^2}{\alpha^2}$;

- ввод класса точности выполняемых операций и значения коэффициента точности, K_i, устанавливающего число единиц допуска для принятого класса точности;

2. Процедура анализа общих параметров технической системы:

- анализ категории автомобильной дороги, суточной интенсивности движения N_1 и расчетной скорости движения v_D и средней скорости движения грузовых автомобилей v_G, в зависимости от категории автомобильной дороги, а также количества полос движения в одном направлении и фактической загруженности автомобилей η_D (отношение веса перевозимого груза к проектной грузоподъемности);

- анализ доли грузовых автомобилей в общем потоке автотранспорта,α_G;

- оценка длины загружения, с учетом номинальной длины пролета L и допуска ΔL на отклонение размера пролета (изготовление, монтаж), $\Delta L = i \times K_i$, $i = \alpha_i\left(0{,}8 + 0{,}001\sqrt{L}\right) \times \left(\sqrt[3]{L + 25} + 0{,}001\sqrt[3]{L^2}\right)$;

- расчет статистических оценок процесса изменчивости скорости движения транспортного потока по однородному участку дороги мода: $v_{G.\mathrm{mod}} = \frac{v_G}{\sqrt{\pi/2}}$, медиана $v_{G.\mathrm{med}} = v_{G.\mathrm{mod}}\sqrt{\ln(4)}$, стандарт $\Delta_{vG} = \sqrt{{v_{G.\mathrm{mod}}}^2\left(2 - \frac{\pi}{2}\right)}$;

- оценка времени эксплуатации сооружения к моменту оценки τ и проектного (ожидаемого) ресурса оцениваемой системы θ, $\tau < \theta$.

3. Процедура анализа физико-механических и магнитных свойств стали:

- оценка математического ожидания, $\widehat{\mu_m}$, и дисперсии, $\widehat{\Delta_m}$, предела текучести стали – используется метод аналогов (по результатам статистической обработки результатов испытаний механических свойств строительных сталей);

- оценка базовых параметров магнитных свойств стали (по величине коэрцитивной силы), включающих: исходное значение коэрцитивной силы, которое в отожженном состоянии минимальное для каждой марки стали, H^0_c; значение коэрцитивной силы, соответствующее уровню внутренних напряжений, равных пределу текучести стали, H^m_c; значение коэрцитивной силы, соответствующее достижению статической прочности стали, H^e_c; значение коэрцитивной силы, соответствующее достижению предела усталостной прочности, H^v_c;

- оценка математического ожидания, $\widehat{\mu_\sigma}$, $\widehat{\mu_H}$ и дисперсии, $\widehat{\Delta_\sigma}$, $\widehat{\Delta_H}$ нормальных напряжений $\hat{\sigma}$ и структурного состояния материала $\widehat{H_c}$ – используется метод аналогов (по результатам статистической обработки результатов натурного обследования и коэрцитиметрического контроля) или методом, представленным в работе [12].

4. Процедура оценки характерных и уязвимых зон контроля:

- оценка характерных зон расчетных сечений мостового сооружения по степени концентрации напряжений β_v (в том числе: в зоне перехода при стыковании листов разной толщины; прикрепление элементов в нахлестку; в местах, где обрываются детали; в сечениях по крайнему ряду болтов и др.);

- оценка сечений с наибольшими расчетными усилиями (по расчетной схеме мостового сооружения);

- оценка зон с локальными поражениями вследствие деградации материала конструкции, с учетом характерных дефектов и повреждений, и результатов оценки относительной надежности y_v величины поврежденности ε_v, $y_v = 1 - \varepsilon_v$;

5. Процедура инструментального контроля технической системы:

- формирование репрезентативных выборок для групп однотипных элементов (замеры коэрцитивной силы выполняются вдоль и поперек листового проката под углом

90^0), $H^i_{c,1}$, $H^i_{c,2}$,…$H^i_{c,j}$ – репрезентативность выборки достигается одинаковой возможностью всех элементов генеральной совокупности попасть в выборку;

- выполнение пробных замеров коэрцитивной силы, $H^i_{c,j}$ с расчетом статистических характеристик полученной выборки объемом n_j – выполняется оценка выборочного среднего $\overline{H^i_{c,J}} = \frac{\sum_{j=1}^{n} H^i_{c,j}}{n_j}$ и корректировка оценки дисперсии D на D_{Hc} с учетом фактической изменчивости фактора H^i_c, $D_{Hc} = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left(H^i_{c,j} - \overline{H^i_{c,J}}\right)^2}{n_j}$;

- уточнение количества точек плана контроля – корректировка минимальной численности выборки n на n_{Hc}, обеспечивающей заданную точность α, с учетом фактической дисперсии D_{Hc} фактора H^i_c, $n_{Hc} = \frac{D_{Hc} \times t_p^2}{\alpha^2}$.

6. Процедура комплексного анализа результатов визуального и инструментального контроля:

- уточнение теоретических предпосылок расчета (анализа) – мера усталостного повреждения определяется на основе гипотезы Пальмгрена-Майнера $D_v = \sum_{i=1}^{r} \frac{n_i}{N(S_i)}$, не учитываются факторы: многоосное напряженное состояние, скорость нагружения элемента, влияние промежуточных циклов напряжения в составе главного, вынужденные колебания пролетного строения, температура эксплуатации;

- оценка скорости роста коэрцитивной силы, v_{Hc} (показателя скорости накопления повреждений):

$$v_{Hc} = \frac{\max H^i_{c,j} - H^0_c}{\tau}, \quad (1)$$

где max $H^i_{c,j}$ – максимальное значение коэрцитивной силы в группе однотипных элементов;

- оценка наибольшего ожидаемого числа циклов нагружения за 1 год эксплуатации, $N_{\text{sup},k}$, и за время эксплуатации системы к моменту оценки τ:

$$N_{\text{sup}} = \tau \times N_{\text{sup},k}; \quad (2)$$

- оценка числа расчетных нагружений системы с учетом дискретной изменчивости интенсивности и скорости движения автомобилей, N_τ:

$$N_\tau = \sum_{t=1}^{\tau} \sum_{i=1}^{12} \sum_{s=1}^{30} \sum_{k=1}^{24} P_q(k,s,i,t) \times \left(\frac{3600}{l}\right) \tilde{v} \eta_D^n, \quad (3)$$

где n – число автомобилей, одновременно находящихся на мосту; $P_q(k, s, i, t)$ – вероятность появления на мосту q-ой расчетной ситуации нагрузки с учетом коррекции на стеснение транспортного потока; индексы k, s, i, t отвечают значению вероятности в данный час; l – расчетный участок; $\tilde{v}$ – скорость движения смешанного потока автомобилей;

- оценка фактического режима работы системы по текущему значению коэрцитивной силы:

$$\gamma_N^\tau = \frac{N_{\text{sup}}}{N_\tau \pm \varepsilon_N^\tau}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_N^\tau = t_p \times \sqrt{\frac{D_{N\tau}}{N_\tau}}, \quad (5)$$

при этом предполагаются следующие оценки: надежный $\gamma^\tau_N \leq 0{,}5$, контролируемый $0{,}5 < \gamma^\tau_N \leq 0{,}75$, критический $\gamma^\tau_N > 0{,}75$;

- оценка асимметрии цикла переменных нормальных напряжений: начальных ρ_σ и на момент оценки ρ^τ_σ:

$$\rho_\sigma = \frac{\sigma_{\text{min,ef}}}{\sigma_{\text{max,ef}}}, \quad (6)$$

$$\rho_\sigma^\tau = \frac{\sigma^\tau_{\text{min,ef}}}{\sigma^\tau_{\text{max,ef}}}; \quad (7)$$

- оценка показателя динамики накопления усталостных повреждений, $v_{\text{Rσ}}$:

$$v_{R\sigma} = \frac{R_y \gamma_w - \sigma_{\text{max,ef}}}{\left(R_y \gamma_w^\tau - \sigma^\tau_{\text{max,ef}}\right)\tau}, \quad (8)$$

где $\gamma_w \sim f(\rho_\sigma, \beta_v)$, $\gamma_w^\tau \sim f(\rho_\sigma^\tau, \varepsilon_v, \beta_v)$, $\sigma^\tau_{\text{max,ef}} \sim f(\sigma_{\text{max,ef}}, y_v)$.

- оценка сходимости теоретических предпосылок расчетных моделей с данными инструментального контроля – выполняется по F-критерию Фишера:

$$F_{N\sigma} < [F_{N\sigma}], \quad (9)$$

$$F_{N\sigma} = \frac{D_{\sup}|(\theta_N^\tau \vee \theta_\sigma^\tau)}{D_{\inf}|(\theta_N^\tau \vee \theta_\sigma^\tau)}, \quad (10)$$

где $D_{\sup}$, $D_{\inf}$ – соответственно бóльшая и меньшая дисперсия, полученные для оценок θ_N^τ или θ_σ^τ; $[F_{N\sigma}]$ – критическое значение критерия Фишера исходя из уровня значимости α и степеней свободы n_i - 1;

- оценка коэффициента вариации структурных изменений:

$$\omega_H \sim f(D_{N\tau}, U), \quad (11)$$

где U – расширенная неопределенность / допустимая ошибка;

- оценка коэффициента вариации нагрузки:

$$\omega_\sigma \sim f(D_{\sigma\tau}, N_{\sup}, \varepsilon_v). \quad (12)$$

7. Процедура прогноза изменчивости выходных параметров на глубину времени – до очередного обследования/ремонта/реконструкции/утилизации:

- ожидаемое (допустимое с позиции безопасности) число воздействий на систему до достижения предела усталостной прочности:

$$N_\theta^\tau = \exp\left(\frac{H_c^v - \max H_{c,j}^i}{v_{Hc}}\right); \quad (13)$$

- оценка долговечности системы по коэрцитивной силе:

$$\theta_N^\tau = \frac{H_c^v - \max H_{c,j}^i}{v_{Hc}}; \quad (14)$$

- оценка долговечности системы по динамике накопления усталостных повреждений:

$$\theta_\sigma^\tau = \frac{R_y \gamma_w^\tau - \sigma_{\max,ef}^\tau}{v_{R\sigma}}; \quad (15)$$

- анализ системы по условной вероятности отказа для комбинации «удельная прочность – нормальные напряжения»:

$$Q_\sigma(t) = \sum_{k=1}^m \int_0^t \frac{\Delta_\sigma(t)}{\sqrt{\Delta_\sigma^2(t) + \Delta_R^2(t)}} \cdot \exp\left\{-\frac{[\mu_R(t) - \mu_\sigma(t)]^2}{2 \cdot [\Delta_\sigma^2(t) + \Delta_R^2(t)]}\right\} \cdot \frac{\omega_\sigma}{2\pi} dt, \quad (16)$$

где $t = 0 \ldots \theta$; $\mu_R(t)$, $\Delta_R(t)$ – математическое ожидание и стандарт, характеризующие процесс изменчивости удельной прочности стали за время t; $\mu_\sigma(t)$, $\Delta_\sigma(t)$ – математическое ожидание и стандарт, характеризующие процесс изменчивости нормальных напряжений в k-том расчетном элементе системы;

- анализ системы по условной вероятности отказа для комбинации «структурное состояние материала – усталостная прочность»:

$$Q_H(t) = \sum_{k=1}^m \int_0^t \frac{\Delta_H(t)}{\sqrt{\Delta_H^2(t) + \Delta_{Hv}^2(t)}} \cdot \exp\left\{-\frac{[\mu_{Hv}(t) - \mu_H(t)]^2}{2 \cdot [\Delta_H^2(t) + \Delta_{Hv}^2(t)]}\right\} \cdot \frac{\omega_H}{2\pi} dt, \quad (17)$$

где $\mu_{Hv}(t)$, $\Delta_{Hv}(t)$ – математическое ожидание и стандарт, характеризующие процесс изменчивости усталостной прочности стали (по коэрцитивной силе) за время t; $\mu_H(t)$, $\Delta_H(t)$ – математическое ожидание и стандарт, характеризующие процесс изменчивости коэрцитивной силы в k-том расчетном элементе системы;

- анализ системы по условной вероятности отказа для комбинации «линейное накопление повреждений – усталостная прочность»:

$$Q_N(t) = \sum_{k=1}^m \int_0^t \frac{\Delta_N(t)}{\sqrt{\Delta_v^2(t) + \Delta_N^2(t)}} \cdot \exp\left\{-\frac{[\mu_v(t) - \mu_N(t)]^2}{2 \cdot [\Delta_v^2(t) + \Delta_N^2(t)]}\right\} \cdot \frac{\omega_N}{2\pi} dt, \quad (18)$$

где $\mu_v(t)$, $\Delta_v(t)$ – математическое ожидание и стандарт, характеризующие процесс изменчивости усталостной прочности стали (по гипотезе линейного накопления повреждений) за время t; $\mu_N(t)$, $\Delta_N(t)$ – математическое ожидание и стандарт, характеризующие динамику накопления повреждений в k-том расчетном элементе системы.

Производственная апробация алгоритма анализа структурного состояния материала конструктивных элементов мостовых сооружений

Для производственной апробации алгоритма оценки ресурсных показателей автодорожных мостов на основе анализа структурных изменений и накопления повреждений в конструктивных элементах, выбран объект исследования – Мост находится на автомобильной дороге III технической категории и расположен в

Республике Татарстан вблизи села Аппаково (рис. 1). Мост был построен в 1990 году. Проектная нагрузка – А11, НК80. Мост трёхпролетный, выполнен по балочно-разрезной схеме с пролетами 13,55×3 м. Пролетное строение в поперечном сечении состоит из трех балок, выполненных из труб Ø1020×10 по ГОСТ 8696. Поперечная схема моста: К1,4+3,7×2+К1,4. Габарит моста 8,4 м. Ширина тротуаров с обеих сторон по 1,0 м. Покрытие проезжей части асфальтобетонное, уложенное на сборные железобетонные плиты толщиной 20 см.

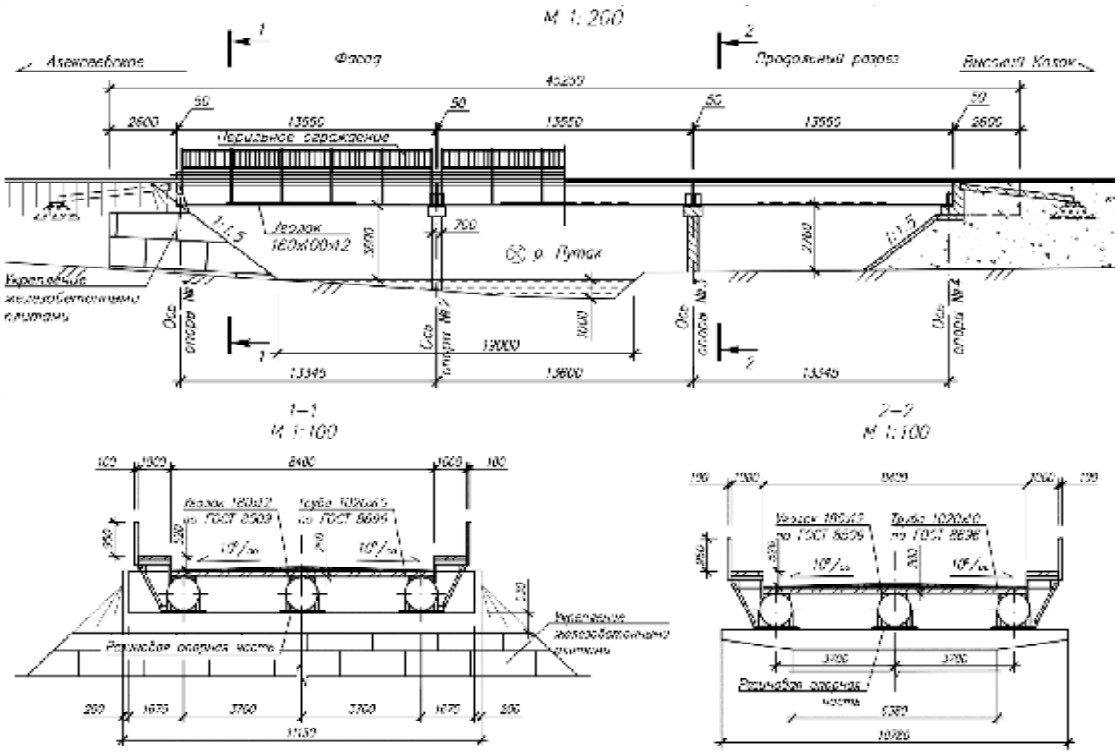


Рис. 1. Продольный и поперечный профиль моста (иллюстрация авторов)

Ультразвуковая толщинометрия элементов металлоконструкций несущих балок показала, что имеются повреждения элементов в виде общей поверхностной коррозии, слой коррозии равномерный в пределах 1,39 мм. По результатам измерений твердости металла был определен класс по прочности стали для труб Ø1020×10 – С285 по ГОСТ 27772.

При формировании исходных данных для оценки ресурса безопасной эксплуатации мостовых сооружений объекта исследования, а также в процессе аналитических и расчетных преобразований, связанных с переходом от исходных и промежуточных и/или выходных параметров, были приняты определенные теоретические предпосылки и ограничения области исследования. Это, прежде всего, обусловлено необходимостью упрощения алгоритма расчета до приемлемого уровня, позволяющего с наименьшей трудоемкостью (как машинного времени, так и времени натурного обследования) обеспечить минимальные требования, предъявляемые к точности и достоверности в области строительных конструкций, применительно к мостовым сооружениям.

Учитывая, что большое значение имеет само понятие цикла нагрузки, сделаем определение этого и связанного и ним понятий:

- цикл нагрузки – периодическое изменение нагрузки, связанное с продолжительностью одного прохода подвижной нагрузки по заданному отрезку, представляющее собой статистическую оценку суммарного числа воздействий этой нагрузки;

- число воздействий нагрузки – расчетное загружение системы отдельным колесом автомобиля, следствие непрерывного движения нагрузки по мосту в течение короткого промежутка времени;

- цикл при усталостном нагружении – одна полная последовательность изменения знака приложенной нагрузки, которая повторяется периодически.

Статистическая модель смешанного транспортного потока на мосту составлена на основе усеченного закона Пуассона и позволяет учесть изменение режима движения автомобилей во времени, при этом сделаны следующие предпосылки:

- скорость v и интенсивность движения приняты постоянными в течение короткого промежутка времени $d\tau$;
- обгон автомобилей на мосту запрещается;
- расстояние между автомобилями, попадающими в заданный отрезок l (длина пролета), принимается не менее минимально возможного расстояния безопасности;
- влияние соседних и встречных колонн автомобилей не учитывается;
- смена расчетных ситуаций на заданном отрезке происходит дискретно через каждый указанный промежуток времени, равный l/v;
- оценка ожидаемого числа событий одновременного нахождения j автомобилей на отрезке l за интервал времени $d\tau$ выполняется с учетом дискретно-переменной интенсивности и скорости движения транспорта во времени;
- взаимное расположение разных типов автомобилей в колонне предполагается произвольным, но при этом учитывается их загруженность (то есть отношение веса перевозимого груза к проектной грузоподъемности автомобиля).

Изменчивость физико-механических и магнитных свойств сталей возникает за счет возможности неблагоприятных отклонений от нормативных значений вследствие случайного характера свойств материалов. Снижение безопасности, вызванное изменчивостью физико-механических и магнитных свойств сталей, учитывается коэффициентом надежности по материалу.

Для эффективного планирования эксперимента начальные условия выбраны так, чтобы сократить время достижения цели эксперимента. При этом используется принцип Парето при выявлении достаточности наиболее значимых управляемых факторов, доля которых в общем объеме составляет порядка 20 %.

Начальные исходные параметры расчета получены на основе изучения проектной и исполнительной документации на объект, а параметры расчета, принятые на момент оценки, получены путем прямых инструментальных измерений, выполненных с участием авторов при натурном обследовании в 2018 и 2019 годах.

Для выполнения расчетов были составлены аналитические и программные модули при использовании многофункциональной вычислительной системы Mathcad 14, которые позволили реализовать многопараметрическое взаимодействие управляемых и контрольных факторов в приемлемое для практики время машинного эксперимента (время решения задачи не превышает 30 минут на ПК с процессором типа Intel®Core™ i7-8700, включая время ввода значений изменяемых факторов).

Полученные результаты анализа системы по условной вероятности отказа для различных комбинаций представлены на рис. 2-4.

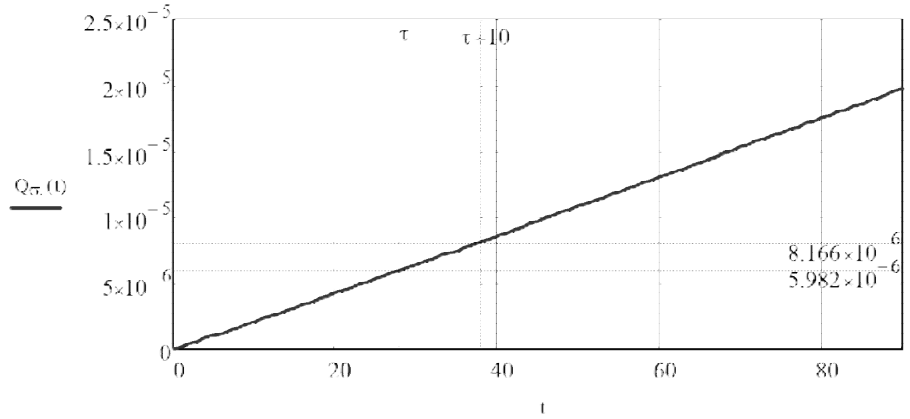


Рис. 2. Анализ системы по условной вероятности отказа
для комбинации «удельная прочность – нормальные напряжения» (иллюстрация авторов)

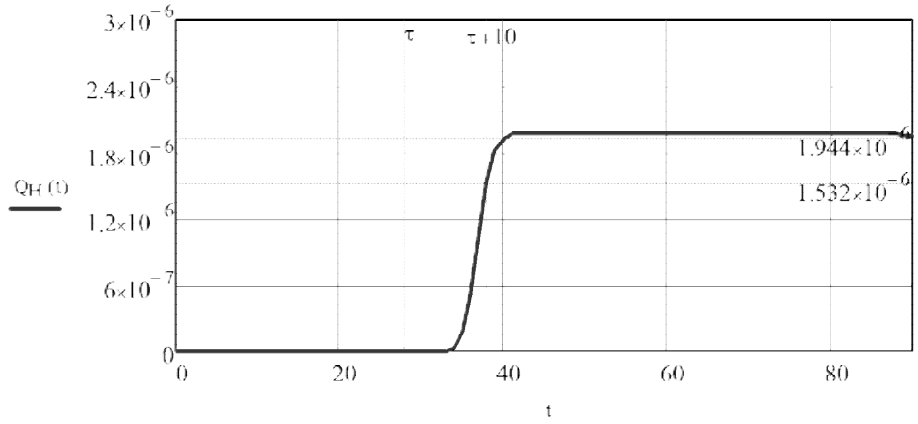


Рис. 3. Анализ системы по условной вероятности отказа
для комбинации «структурное состояние материала – усталостная прочность»
(иллюстрация авторов)

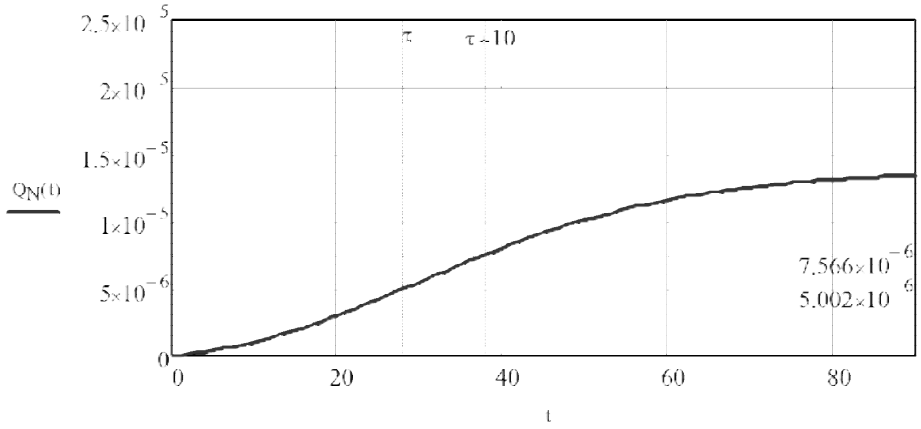


Рис. 4. Анализ системы по условной вероятности отказа
для комбинации «линейное накопление повреждений – усталостная прочность»
(иллюстрация авторов)

Анализ величин условных вероятностей отказов в характерных точках времени эксплуатации (на момент оценки, на глубину до следующего планового обследования и на глубину до ожидаемого исчерпания проектного ресурса) показал, что для всех рассмотренных комбинаций значение вероятности отказа не оказалось ниже 2×10^{-5}. Это значение определяет уровень надежности расчетного элемента системы (главной балки) для принятого уровня достоверности 0,95 и степени точности 0,05.

Рассмотренные расчетные комбинации оценки условной вероятности отказа по своей сути характеризуют резервы несущей способности системы по условиям статической прочности и усталостной прочности (выносливости).

Заключение

1. Предложенный подход позволяет вести расчет конструктивных элементов мостовых сооружений по фактическому техническому состоянию и режиму эксплуатации с заданным уровнем надежности при условии, что принятые предпосылки расчета будут признаны приемлемыми.

2. Предложенная методология оценки ресурсных показателей мостовых сооружений по коэрцитивной силе, позволяет в общем виде учитывать возникающие неопределенности расчетных параметров за счет использования интервальных оценок, а также давать оценку надежности системы по условной вероятности появления отказа.

3. Выявлен недостаток предложенной системы оценки ресурсных показателей по вероятности безотказной работы (вероятности отказа), который состоит в отсутствии нормативного регулирования граничных значений допустимой вероятности отказа, что затрудняет принятие решений о соответствии системы требуемому уровню безопасности.

Список библиографических ссылок

1. Попов Б. Е. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса сосудов, работающих под давлением // Безопасность труда в промышленности. 2001. № 3. С. 25–30.
2. Мельгуй М. А. Импульсные магнитные методы и средства контроля механических свойств изделий из ферромагнитных сталей. Екатеринбург, 1993. 45 с.
3. Бида Г. В., Горкунов Э. С., Шевнин В. М. Магнитный контроль механических свойств проката. Екатеринбург : УрО РАН, 2002. 253 с.
4. Мацевитый В. М., Безлюдько Г. Я., Вакуленко К. В., Казак И. Б., Карабин В. В. Некоторые закономерности изменения коэрцитивной силы пластичных (незакаленных) сталей при активном растяжении // Вестник НТУ «ХПИ», 2010. С. 19–24.
5. Родионова С. С. Магнитный контроль структуры и механических свойств стальных изделий после термической обработки и деформационного упрочнения. Екатеринбург, 2002. 214 с.
6. Zakharov V. A., Ul'yanov A. I., Gorkunov E. S. Regularities of the change in the coercive force under biaxial asymmetric deformation of steel 3 // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2010. Vol. 46. № 3. P. 194–205.
7. Ul'yanov A. I., Chulkina A. A. Magnetic properties of cementite and the coercive force of carbon steels after plastic deformation and annealing // The Physics of Metals and Metallography. 2009. Vol. 107. № 5. P. 439–448.
8. Chulkina A. A., Ul'Yanov A. I. Effect of the magnetic properties of cementite on the coercive force of high-carbon steels after quenching and tempering // The Physics of Metals and Metallography. 2009. Vol. 108, № 6. P. 548–555.
9. Thompson S. M., Tanner B. K. The Magnetic Properties of Specially Prepared Pearlitic Steels of Various Carbon Content as a Function of Plastic Deformation // J. Mag. Magn. Mater. 1994. Vol. 132. Nos. 1-3. P. 71–78.
10. Moses J. Energy efficient electrical steels: magnetic performance prediction and optimization // Scripta Materialia. 2012. Vol. 67. № 6. P. 560–565.
11. Замалиев Ф. С. Выявление доэксплуатационных напряжений и деформаций стальных балок-ребер сталежелезобетонного перекрытия // Вестник МГСУ. 2013. № 7. С. 33–39.
12. Mirzaee S., Shayesteh S. F., Mahdavifar S., Hekmatara S. H. Synthesis, characterization and Monte Carlo simulation of $CoFe_2O_4$/Polyvinylpyrrolidone nanocomposites: the coercivity investigation // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2015. Vol. 393. № 11. P. 1–7.

Maystrenko Igor Iurevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: igor_maystr@mail.ru
Zinnurov Tagir Almirovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: leongar@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Maystrenko Tatiana Igorevna
specialist on industrial safety
E-mail: maystrenko1496@mail.ru

Egorova Irina Iurevna
project technician
E-mail: risha9210@gmail.com
Erochin Dmitiy Igorevic
techic-design
E-mail: erokhin1604@mail.ru
Research and production center «Stroj-Ehkspertiza» LTD
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Kalinin st., 48, off., 506A

Estimation of road bridges resource indicators based on the analysis of structural changes and damage accumulation in structural elements

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to develop a generalized algorithm for analyzing the structural state of bridge structures structural elements, which allows, by selecting control and controlled factors, to assess the resource indicators of bridge structures.

Results. The main results of the study consist in the analysis of the values of the conditional probability of failures at characteristic points of the operating time (at the time of the assessment, to the depth until the next scheduled inspection and to the depth to the expected exhaustion of the project resource), which characterize the reserves of the carrying capacity of the system under the conditions of static strength and fatigue strength (durability).

Conclusions. The significance of the results obtained for the road bridges design consists in improving and optimizing the procedures for calculating the road bridges steel structures for strength and endurance.

Keywords: road bridge, steel structure, durability, structural state analysis, resource, traffic flow.

References

1. Popov B. Ye. Magnetic control of stress-strain state and residual life of pressure vessels // Safety in industry. 2001. № 3. P. 25–30.
2. Mel'guy, Mikhail Aleksandrovich. Pulsed magnetic methods and means of control of mechanical properties of products from ferromagnetic steels. Yekaterinburg, 1993. 45 p.
3. Bida G. V., Gorkunov E. S., Shevnin V. M. Pulsed magnetic methods and means of controlling the mechanical properties of products from ferromagnetic steels. Ekaterinburg : UrO RAN, 2002. 253 p.
4. Matsevityy V. M., Bezlyud'ko G. Ya., Vakulenko K. V., Kazak I. B., Karabin V. V. Some patterns of change in the coercive force of ductile (non-hardened) steels under active tension // Vestnik NTU «KHPI». 2010. P. 19–24.
5. Rodionova Svetlana Sergeyevna. Magnetic control of the structure and mechanical properties of steel products after heat treatment and strain hardening. Yekaterinburg, 2002. 214 p.
6. Zakharov V. A., Ul'yanov A. I., Gorkunov E. S. Regularities of the change in the coercive force under biaxial asymmetric deformation of steel 3 // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2010. Vol. 46. № 3. P. 194–205.
7. Ul'yanov A. I., Chulkina A. A. Magnetic properties of cementite and the coercive force of carbon steels after plastic deformation and annealing // The Physics of Metals and Metallography. 2009. Vol. 107. № 5. P. 439–448.
8. Chulkina A. A., Ul'yanov A. I. Effect of the magnetic properties of cementite on the coercive force of high-carbon steels after quenching and tempering // The Physics of Metals and Metallography. 2009. Vol. 108, № 6. P. 548–555.

9. Thompson S. M., Tanner B. K. The Magnetic Properties of Specially Prepared Pearlitic Steels of Various Carbon Content as a Function of Plastic Deformation // J. Mag. Magn. Mater. 1994. Vol. 132. Nos. 1-3. P. 71–78.
10. Moses J. Energy efficient electrical steels: magnetic performance prediction and optimization // Scripta Materialia. 2012. Vol. 67. № 6. P. 560–565.
11. Zamaliev F. S. Identification of pre-operation stresses and deformation of steel beams-ribsof composite floors // Bulletin of MSUCE. Moscow, 2013. № 7. P. 33–39.
12. Mirzaee S., Shayesteh S. F., Mahdavifar S., Hekmatara S. H. Synthesis, characterization and Monte Carlo simulation of CoFe2 O4/Polyvinylpyrrolidone nanocomposites: the coercivity investigation // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2015. Vol. 393. № 11. P. 1–7.

УДК 625.855.31
Смирнов Денис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Броднева Валерия Евгеньевна
лаборант
E-mail: valeria011278@gmail.com
АО «Татавтодор»
Адрес организации: 420012, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75
Лобанова Ангелина Сергеевна
лаборант
E-mail: lobangelina@icloud.com
АО «КВАРТ»
Адрес организации: 420054, Россия, г. Казань, ул. Техническая, д. 25

Анализ опыта применения теплых асфальтобетонных смесей

Аннотация

Постановка задачи. Дорожно-строительный сезон в климатических условиях Республики Татарстан ограничен сроками, поэтому основная укладка асфальтобетонных смесей производится с апреля по октябрь месяц. Дальность возки таких смесей с учетом территории республики и ограниченного числа асфальто-смесительных установок составляет зачастую 100 и более километров. При увеличивающейся стоимости энергоресурсов цель исследования – выявить уменьшение энергетических затрат на производство асфальтобетонных смесей.

Результаты. Основные результаты исследования приводят дорожников к применению теплых асфальтобетонных смесей, позволяющих решить данные задачи, уменьшив температуру приготовления и укладки асфальтобетонных смесей. Отдельную нишу в области модификации асфальтобетонных смесей занимают природные воски и синтетические парафины. Они используются для производства теплых асфальтобетонных смесей, а также для придания литым асфальтобетонным смесям лучшей удобоукладываемости.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что применение теплой смеси, изготовленной по представленной технологии и концентрату канадской компанией «CantatAssociatesInc», позволяет продлить сезон укладки асфальтобетонной смеси, вплоть до отрицательных температур. Дальность возки и время нахождения смеси в кузове автомобиля намного увеличивается. Смесь длительное время не остывает, остается пластичной, однородной. Кроме того, смесь не имеет запаха, что существенно для проведения лабораторных испытаний.

Ключевые слова: теплые асфальтобетоны (ТАБ), асфальтобетонная смесь (АБС)**,** битум**,** минеральный порошок**,** добавки.

Введение

Дорожно-строительный сезон в климатических условиях Республики Татарстан ограничен сроками, поэтому основная укладка асфальтобетонных смесей (АБС) производится с апреля по октябрь месяц. В России, как и во всем мире, в качестве основных смесей применяются горячие АБС. В целях продления дорожно-строительного сезона всё чаще используются асфальты теплой укладки и холодные смеси [1].

Термин «асфальты тёплой укладки» вбирает в себя различные технологии, позволяющие изменить традиционное понимание процессов производства, транспортировки, укладки и уплотнения, используемых при работе с горячими асфальтобетонными смесями [2].

Надо отметить, что технология теплых АБС воспринимается нами как технология, пришедшая из-за рубежа, но она известна ещё по ГОСТ 9128-84 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия». Именно в этом документе, действовавшим до 1998 года, мы видим классифицирование теплых асфальтов и изменение температурных параметров при производстве и укладке. В настоящее время в России нет нормативной документации, регламентирующей применение добавок для производства асфальтобетонных смесей тёплой укладки, но всё чаще новые технологии позволяют внедрять их в дорожном строительстве. Применение тёплых асфальтобетонных смесей в России имеет направленность в сторону увеличения сроков строительства, а также за счет уменьшения температуры смеси при укладке, увеличения дальности возки. За рубежом, однако, первоначальная идея применения добавок для приготовления тёплых асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов из вспененного битума состояла в возможной экономии энергозатрат и, следовательно, уменьшения их стоимости [3-4].

Из зарубежного опыта применения асфальтов теплой укладки можно выделить следующий ряд целей:

- экономия энергии и уменьшение выбросов углекислых газов;
- уменьшение паров из битума при нагреве;
- снижение сроков старения битума;
- повышение термостойкости в сравнении с литыми смесями;
- улучшение адгезионных свойств битума с инертными материалами.

Производят тёплые асфальтобетонные смеси в России по технологии, соответствующей обычным горячим смесям, с той лишь разницей, что уплотнение их производится при температуре более низкой. За рубежом же приготовление смесей основано на изначально более низкой температуре нагрева, что дает множество преимуществ экологического и экономического аспекта.

Особенности производства АБС

Физико-механические свойства асфальтобетонов, такие как прочность при сжатии и сдвигоустойчивость, сильно зависят от температуры нагрева инертных материалов. Одним из путей снижения зависимости асфальтобетонов от температуры является повышение сцепления и внутреннего трения минерального остова асфальтобетонной смеси.

Различают несколько возможных вариантов получения теплых асфальтобетонных смесей: технологии вспенивания битума – вспенивающие добавки (например, цеолиты) или системы механического вспенивания, а так же применение пластифицирующих, модифицирующих и химических добавок [5]. Принято считать, что формирование структуры горячих смесей происходит при температуре не ниже 100 градусов Цельсия и, в дальнейшем, при уплотнении происходит разрушение связей. При анализе приводимых ниже участков укладки видно, что формирование смеси при использовании отдельных видов добавок, возможно, производить уплотнение при температуре 85 градусов и ниже.

Смеси тёплой укладки производят в обычных смесителях. Основное условие, чтобы температура отходящих газов не превышала точку росы. Существует несколько вариантов снижения зависимости свойств смеси от температуры:

- применение добавки, изменяющей вязкость (минеральной и органической);
- применение вспененного битума;
- применение нестандартной технологии приготовления смеси.

В иностранной литературе (Józef Judycki. Construction and Building Materials) в качестве добавок, изменяющих вязкость, рекомендуется применять цеолиты (минеральные добавки) для производства асфальтов тёплой укладки (WMA). Ковалентная решётка этого вещества содержит воду. Рекомендуется применение данного компонента на время не более 4 часов. Технологии, позволяющие вспенивать битумы, считаются наиболее эффективными экономически, так как добавкой к битуму является недорогая и доступная в наших условиях вода. Однако технологически организация данного процесса требует дополнительной подготовки. Так скорость вращения сушильного барабана, а следовательно скорость прохождения инертных материалов должна изменяться – это и дополнительное оборудование необходимое для впрыскивания воды в смеситель требует дополнительных

затрат и требует очень серьезного технологического контроля при применении. Также при попадании воды в смеситель увеличивается объём вспененной массы, что влечет за собой увеличение объёма смесителя. Необходимо понимать, что при введении воды в битум, даже при условии её перехода в парообразное состояние, существуют риски по обратному переходу пара в воду и попаданию остаточной влаги в конечный уложенный асфальтобетон, что, несомненно, приведет к разрушению дорожного покрытия. Это может быть связано с недостаточной технологичностью или скоростью работ по укладке асфальта, погодными условиями, затруднённой или удаленной транспортировкой асфальтобетонной смеси к месту проведения работ и т.д. Однако за рубежом вспенивающие технологии используются очень широко, но это больше связано с экономическим и экологическим преимуществом теплого асфальта, а не с продлением дорожно-строительного сезона или увеличением дальности перевозки асфальтобетонной смеси [6].

Органические пластифицирующие добавки – это добавки, содержащие воск и парафин. Использование органических добавок приводит к снижению температуры плавления битумов, что позволяет производить смеси при более низких температурах. Стоит отметить, что использование воска в составе битума, при приготовлении теплой асфальтобетонной смеси приводит к снижению трещиностойкости и может быть не таким эффективным [7].

Химические добавки – поверхностно-активные вещества (ПАВ), при введении в битум изменяют структуру вяжущего, что позволяет снизить температуру производства и укладки асфальтобетонной смеси примерно на 40-60˚С. Также такого рода добавки выступают как активатор активной адгезии в асфальтобетонной смеси, т.е. способности вяжущего вытеснять влагу с границы раздела фаз битума – каменный материал, что позволяет использовать их для снижения рисков по наличию остаточной влаги во вспененных низкотемпературных смесях (рис. 1).

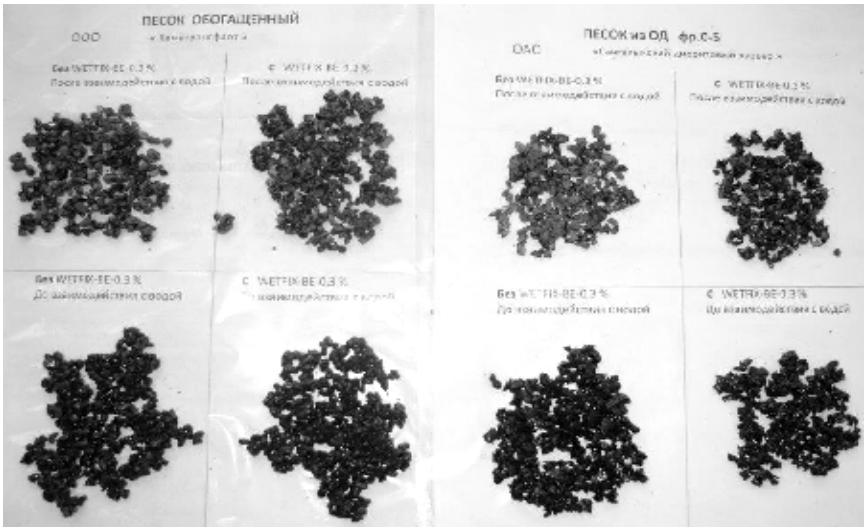


Рис. 1. Результаты испытания сцепления битума с песком (иллюстрация авторов)

Использование химических добавок не требует дополнительных затрат на модернизацию оборудования, и, как правило, добавки смешиваются с битумом в резервуарах смесительной установки, или вводятся посредством уже имеющегося автоматического оборудования для ввода обычных адгезионных добавок [8, 9].

Отдельную нишу в области модификации асфальтобетонных смесей занимают природные воски и синтетические парафины. Они используются для производства теплых асфальтобетонных смесей, а также для придания литым асфальтобетонным смесям лучшей удобоукладываемости. Применение восков и парафинов позволяет добиться следующих положительных качеств:

- снижение вязкости вяжущих в области температур выше 140°С;
- изменение реологических свойств вяжущих;

- снижение температуры производства и укладки асфальтобетонных смесей.

В настоящее время на рынке представлены следующие виды природных восков и парафинов:

- sasobit (температура плавления 114-120°С). Производится фирмой «SasolWax» (Германия) и является длинноцепным алифатическим углеводородом, получаемым путем газификации угля в процессе синтеза Фишера-Тропша;

- asphaltan (температура плавления 110-140°С). Производится фирмой «RomontaGmbH» (Германия). Получают путем экстракции бензолом или бензином из содержащего воск бурого угля с высоким содержанием озокерита;

- licomont.BS 100 (температура плавления 120-140°С). Производится фирмой «Clariant» (Швейцария). Представляет собой амидный воск – продукт реакции смесей длинноцепочечных жирных кислот с алифатическими диаминами;

- rediset WMX (температура плавления около 104°С). Производится компанией «AkzoNobel» (Нидерланды). Обеспечивает активную и пассивную адгезию вяжущего по отношению к каменному материалу, снижает водонасыщение асфальтобетона.

Одним из вариантов уменьшения температуры приготовления асфальтовых смесей является изменения технологии изготовления. Суть метода заключается в том, что сначала смешиваются с битумом крупные фракции инертных материалов, а затем добавляются мелкие (заполнитель и песок). Такая асфальтобетонная смесь может выпускаться и укладываться при более низких температурах за счёт остаточной влаги в мелком материале. Метод двухфазного смешивания. При этом методе сначала перемешивают смесь с низковязким битумом, а потом с более вязким. Это даёт возможность уменьшить температуру приготовления на 10-30К по сравнению с обычным способом. Надо отметить, что производство на асфальтосмесительной установке теплых АБС сопряжено с рядом трудностей:

- дозирование добавок зависит от типа добавки. Так, для жидкостных добавок требуются совершенно другие дозирующие устройства, чем для сыпучих. Причем, из-за ограниченного количества возможных устройств, подающих в смеситель, не всегда возможно использование весового дозирования. Для подачи вспененного битума требуется устройство вспенивания битума, также возникают вопросы по увеличению объёма смесителя;

- желательна доработка сушильного барабана, позволяющая регулировать скорость прохождения материала. Обычно скорость прохождения материала через сушильный барабан регулируется количеством лопаток, находящихся внутри него. Для оперативного изменения этой скорости нужно оснащение его привода частотным преобразователем, что позволит регулировать расход энергоресурсов при производстве.

Опыт применения теплых АБС в республике Татарстан

Рассмотрим опыт использования теплой АБС на территории Республики Татарстан. Осенью 2011 года ООО «Свиягадорстрой» имела опыт производства применения теплого АБ на нижних слоях покрытия. На строительстве объекта «А/дорога от М7 до СММЛЦ» в Зеленодольском районе Республики Татарстан при приготовлении пористого крупнозернистого асфальтобетона для нижнего слоя покрытия применялась жидкая добавка Evotherm JI (США).

Для производства данного асфальтобетона использовались следующие компоненты: щебень фракции 20-40 мм, щебень фракции 5-20 мм, песок речной крупный, битум БНД 90/130. Добавка впрыскивалась в смеситель АБЗ «Ammann» «Global 160» из емкости, предназначенной для адгезионной добавки, в расчете на 0,3 % от содержания битума до 100 г на тонну а/б смеси. Смешение, происходящее за 26 секунд. Минеральный порошок не применялся, использовали только 1 % собственной пыли инертных материалов. Итого было получено около 4000 тн. теплого пористого асфальтобетона.

Первая четверть была использована при температуре окружающей среды + 4°С 14-17 октября 2011 г., вторая при t -4 ° С 14-18 ноября 2011 г.

Температура выпуска смеси 150-155°С. Перевозка осуществлялась автосамосвалами, оборудованными системой подогрева. Дальность возки на объект – 95 км. В пути автомобили до выгрузки проводили 2-3 часа.

После выхода из-под асфальтоукладчика теплая смесь снизилась до температуры 14°С. С момента остывания смеси до 100-110°С прошло 15-20 минут при этом асфальтобетон оставался горячим, пластичным, поддающимся уплотнению почти 45 мин. После уплотнения движение приостанавливалось по свежеуложенному покрытию минимум на 2 часа. В дальнейшем вырубки асфальтобетона показали отличное уплотнение k=1,0; показатель водонасыщения w=5,0 %; средняя плотность Y=2,42 г/см^3.

Практика показала, что применение теплой смеси, изготовленной по представленной технологии и концентрату канадской компанией «CantatAssociatesInc», позволяет продлить сезон укладки асфальтобетонной смеси, вплоть до отрицательных температур. Дальность возки и время нахождения смеси в кузове автомобиля намного увеличивается. Смесь длительное время не остывает, остается пластичной, однородной. Кроме того, смесь не имеет запаха, что существенно для проведения лабораторных испытаний [10].

В мае 2012 года АО «Татавтодор» применил добавку для теплых смесей Evoterm J1 при производстве асфальтобетонной смеси тип БII марки для устройства ремонта картами на автомобильной дороге «Южный подход к г. Арску» на протяжении 250 м. В качестве эксперимента была выпущена партия смеси в 25 т с температурой 125-130°С. Укладка асфальтобетонной смеси производилась при температуре окружающего воздуха 9°С. Экспериментальная партия смеси 12 т. Из 25 т была уложена при температуре материала 120°С (участок маркировки Х1). При достижении температуры 85°С на поверхности 95-100°С в толще асфальтобетонной смеси, была уложена оставшаяся часть, при этом наблюдалось следующее: при разгрузке материала в приемочный бункер и в шнеках укладчика образование комков и корки не наблюдалось; смесь уплотнялась так же удобно, как и при 120°С; поверхность асфальтобетона имеет ровный и нормальный вид (данный участок имеет маркировку Х II). Кроме того, был уложен участок на протяжении 50 метров, где не использовались никакие добавки с целью сравнения коэффициентов уплотнения и водонасыщения. Дальность возки до данного участка составляла более пяти километров. Необходимо отметить, что до весны 2019 года капитальный ремонт на участке с использованием данной смеси не проводили.

В АО «Татавтодор» применяли два вида добавок: Evoterm J1 (США) и Honeywell Titan 7686 (США). Результаты приведены в табл.

Таблица

Результаты испытания а/б с добавкой Evoterm J1

№	Участок	Т выпуска, °С	Т укладки, °С	Водонасыщение образца из покрытия, г/см^3	Средняя плотность образца из покрытия, г/см^3	Средняя плотность переформованного образца, г/см^3	Коэффициент уплотнения покрытия
1	Тип Б II Марки+0,3 % Evoterm J1	125-130	120	0,70	2,533	2,543	0,996
2	Тип Б II Марки+0,3 % Evoterm J1	125-130	95-100*	1,49	2,516	2,546	0,988
3	Тип Б II Марки+0,3 % Evoterm J1	145	145	0,94	2,543	2,546	1,0
4	Тип Б II Марки без добавок	145	145	0,66	2,543	2,546	1,0

Весной 2012 года в Актанышском районе Республики Татарстан также был уложен участок дороги с применением данной смеси. И результат был положительный.

Первый объект сделан в 2012 году в Арске. Второй объект сделан на подъезде к базе Аэропорт в октябре 2015 года. Применяли Honeywell Titan 7686 – порошкообразный материал, который легко растворялся в битуме при температуре 135ºС. В обоих случаях укладывали асфальтобетон при низких температурах и в обоих случаях покрытия показывают себя очень хорошо, несмотря на то, что уплотняли смеси при температуре 80-90 градусов. Также отмечалось, что обе добавки улучшали адгезию битума к любым щебням до отличного состояния.

Заключение

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что применение асфальтобетонов тёплой укладки в основном рассчитано на экономию энергозатрат, дорогостоящих материалов и трудовых ресурсов, позволяет существенно снизить количество вредных выбросов в атмосферу, а, следовательно, снизить расходы предприятий на выплаты за причинённый вред атмосфере. В условиях применения в нашей стране, помогает продлить строительный сезон и увеличить дальность возки. Совместное применение различных способов приготовления тёплых асфальтобетонов поможет дорожно-строительным предприятиям качественно выполнять возложенные на них функции, получая при этом соответствующие экономические результаты.

Список библиографических ссылок

1. Сахаров П. В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей // Вестник ПНИПУ. 1935. № 12. С. 22–26.
2. Гезенцвей Л. Б., Горелышев Н. В. Дорожный асфальтобетон. М. : Транспорт, 1985. 350 с.
3. Садило М. В. Автомобильные дороги: строительство и эксплуатация М. : Феникс, 2012. С. 32–35.
4. Александров Д. Ю. Перспективы применения комплексно-модифицированного асфальтобетона в дорожном строительстве // Наука и техника. С. 316.
5. JózefJudycki. Influence of low-temperature physical hardening on stiffness and tensile strength of asphalt concrete and stone mastic asphalt // Construction and Building Materials. 2014, Vol. 61. P. 191–199.
6. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года // rosavtodor.ru : интерн-изд. 2014. URL: http://rosavtodor.ru/storage/b/2014/03/23/strategia.pdf (дата обращения: 11.09.2019).
7. Худоконенко А. А. Анализ требований отечественных и зарубежных нормативных документов к составам асфальтобетонных смесей : тезисы докладов Международной научно-практической конференции / Ростов-на-Дону, 2015. С. 28–29.
8. Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. 2014 // www.mintrans.ru : интерн-изд. 2014. URL: http://www.mintrans.ru/upload/iblock/5cd/stat_2014.pdf (дата обращения: 02.09.2019).
9. Центральная база статистических данных Росстата // cbsd.gks.ru интернет-ресурс. 2015. URL: http://cbsd.gks.ru/ (дата обращения: 11.10.2019).
10. Аюпов Д. А., Макаров Д. Б. Теоретические аспекты расслаиваемости битумполимерных вяжущих // Вестник Казанского технологического университета. 2016. № 23. С. 50–53.

Smirnov Denis Sergeevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Brodneva Valeria Evgenievna
laboratory assistant
E-mail: valeria011278@gmail.com
JSC «Tatavtodor»
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevsky st., 18/75
Lobanova Angelina Sergeevna
laboratory assistant
E-mail: lobangelina@icloud.com
JSC «QUART»
The organization address: 420054, Russia, Kazan, Technicheskaya st., 25

Analysis of application experience of warm asphalt mixes

Abstract

Problem statement. The road construction season in the climatic conditions of the Republic of Tatarstan is limited in time, therefore, the main laying of asphalt mixes is carried out from April to October. The range of carriage of such mixtures, taking into account the territory of the republic and the limited number of asphalt mixing plants, is often 100 or more kilometers. With the increasing cost of energy resources, the aim of the study is to identify a decrease in energy costs for the production of asphalt mixes.

Results. The main results of the study lead road workers to the use of warm asphalt mixes, which can solve these problems by reducing the temperature of preparation and laying of asphalt mixes. A separate niche in the field of modification of asphalt mixes is occupied by natural waxes and synthetic paraffins. They are used for the production of warm asphalt mixes, as well as to give cast asphalt mixes better workability.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry lies in the fact that the use of a warm mixture made by the presented technology and concentrate by the Canadian company «CantatAssociatesInc» allows you to extend the season for laying asphalt mixture, up to freezing temperatures. The range of the wagon and the residence time of the mixture in the car body is much longer. The mixture does not cool down for a long time, remains plastic, homogeneous. In addition, the mixture is odorless, which is essential for laboratory tests.

References

1. Sakharov P. V. Methods of designing asphalt mixtures // Vestnik PNIPU. 1935. № 12. P. 22–26.
2. Gezentsvei L. B., Gorelyshev N. V. Road asphalt concrete. M. : Transport, 1985. 350 p.
3. Sadilo M. V. Roads: construction and operation M. : Fenix, 2012. P. 32–35.
4. Aleksandrov D. Yu. Prospects for the use of complex-modified asphalt concrete in road construction // Nauka i technologii. P. 316.
5. JózefJudycki. Influence of low temperature physical hardening on stiffness and tensile strength of asphalt concrete and stone mastic asphalt // Construction and Building Materials, June 2014. Vol. 61. P. 191–199.
6. Transport strategy of the Russian Federation for the period until 2030 // rosavtodor.ru: internet-ed. 2014. URL: http://rosavtodor.ru/storage/b/2014/03/23/strategia.pdf (reference date: 11.09.2019).
7. Khudokonenko A. A. Analysis of the requirements of domestic and foreign regulatory documents on the composition of asphalt mixtures : thesises of reports of the International scientific and practical conference / Rostov-on-Don, 2015. P. 28–29.
8. Transport of Russia. Statistical Newsletter. 2014 // www.mintrans.ru: intern. 2014. URL: http://www.mintrans.ru/upload/iblock/5cd/stat_2014.pdf (reference date: 02.09.2019).
9. The central database of statistics from Rosstat // cbsd.gks.ru Internet resource. 2015. URL: http://cbsd.gks.ru/ (reference date: 10.10.2019).
10. Ayupov D. A., Makarov D. B. Theoretical aspects of the delamination of bitumen-polymer binders // Vestnik Kazanskogo technologicheskogo universiteta. 2016. № 23. P. 50–53.

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА»

Статья должна быть набрана в программе Microsoft Word (версия не ранее MS Word 97). Файл, названный именем автора статьи, представить с расширением RTF.

Параметры страницы:

- размер страницы – 297×210 мм (формат А4);
- поля: сверху – 20 мм, снизу – 20 мм, слева – 30 мм, справа – 30 мм;
- ориентация страницы – книжная.

Параметры форматирования текста:

- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта – 11 пт;
- абзацный отступ – 10 мм (не задавать пробелами);
- выравнивание – по ширине;
- заголовки полужирным шрифтом, с выравниванием по центру;
- междустрочный интервал – одинарный.

При наборе статьи исключить автоматический перенос слов. Запрещено уплотнение интервалов шрифта.

Объем публикации – не менее 5 полных страниц и не более 10 страниц самого текста. Иллюстративный материал не должен перегружать статью (не более 4 рис.).

Таблицы создать средствами Microsoft Word и присвоить им имена: Таблица 1, Таблица 2 и т.д. Название таблицы с порядковым номером (или номер таблицы без названия) располагается над таблицей. Текст таблицы должен быть набран шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом.

Иллюстрации представить в основных графических форматах (tif, jpg, bmp, gif) с именами Рис. 1, Рис. 2 и т.д. Все объекты должны быть черно-белыми (градации серого), четкого качества. Выравнивание – по центру. Рекомендуемое разрешение – 300 dpi. Названия иллюстраций и подписи к ним набираются шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом. **Не допускается** выполнение рисунков в редакторе Microsoft Word. Минимальный размер иллюстраций – 80×80 мм, максимальный – 170×240 мм.

Все формулы и символы набирать только в Microsoft Word. Для набора тех формул, которые невозможно набрать в Word, использовать встроенный в Microsoft Word редактор формул Microsoft Equation или Math Type. Формулы в статье, подтверждающие физическую суть исследования (процесса), представляются без развернутых математических преобразований. Формулы компонуются с учетом вышеуказанных полей (при необходимости использовать перенос формулы на следующую строку), помещаются по центру строки, в конце которой в круглых скобках ставится порядковый номер формулы (формулы и их порядковые номера – в таблицах с невидимыми границами). Ссылку на номер формулы в тексте также следует брать в круглые скобки. Следует применять физические величины, соответствующие стандарту СТ СЭВ 1052-78 (СН 528-80).

Иллюстрации, формулы, таблицы и ссылки на цитированные источники, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте. При этом, ссылка на литературные источники берётся в квадратные скобки.

Уникальность текста статьи должна составлять не менее 75 %.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 691.33
Иванов Иван Иванович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: ivanov@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
разделительный интервал
Современные строительные материалы
разделительный интервал
Аннотация
Текст аннотации (15-20 строк)
Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, карбамидные пенопласты, модификация.
разделительный интервал
Текст статьи
разделительный интервал
Список библиографических ссылок
разделительный интервал
Ivanov Ivan Ivanovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: ivanov@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
разделительный интервал

Modern building material
разделительный интервал

Abstract

Текст abstract (15-20 строк)

Keywords: thermal insulating materials, of carbamide foams, updating.

разделительный интервал

References*

*Перечень ссылок, переведённый на английский язык (названия издательств, журналов и фамилии не переводить – писать в латинской транскрипции).

Перечень библиографических ссылок обязателен!

Библиографические ссылки представить в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Примеры:

1. Благовещенский Ф. А., Букина Е. Ф. Архитектурные конструкции. М. : Архитектура-С, 2011. 232 с.
2. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Введение в биоповреждение строительных материалов. Казань, 2015. С. 156–161.
3. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р., Морозов В. П. Дегидратация глин различного минерального состава при прокаливании // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 388–394.
4. Тезисы докладов : сб. научных трудов 68-й Всероссийской научной конференции, Казань, 2016. 357 с.
5. Абдрахманова Л. А., Ашрапов А. Х., Низамов Р. К., Хозин В. Г. Структурные факторы деформирования и разрушения нанокомпозитов на основе поливинилхлорида : сб. ст. VIII академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции / КГАСУ. Казань, 2014. С. 8–11.
6. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения : пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03 ; заявл. 26.05.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. 5 с.
7. Доклад начальника Главного управления по делам печати Н. Татищева министру внутренних дел, 1913 г. // РГИА, Ф. 785. Оп. 1. Д. 188. Л. 307.
8. Гущин Б. П. Журнальный ключ : статья // ПФА РАН. Ф. 900. Оп. 1. Ед. хр. 23. 5 л.
9. Теория машин // PROGNOSIS.RU : ежедн. интернет-изд. 2010. URL: http://www.prognosis.ru /logos.html (дата обращения: 02.12.2016).

Примеры перевода перечня ссылок на английский язык:

1. Blagoveshchenskiy F. A., Bukina Ye. F. Architectural construction. M. : Architectura-C, 2011. 232 p.
2. Stroganov V. F., Sagadeyev Ye. V. Introduction to biodamage of building materials. Kazan, 2015. P. 156–161.
3. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R., Morozov V. P. Dehydration of clay of different mineral composition on ignition // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 388–394.
4. Thesises of reports : proceedings of the 68th All-Russian scientific conference, Kazan, 2016. 357 p.
5. Abdrakhmanova L. A., Ashrapov A. Kh., Nizamov R. K., Khozin V. G. Structural factors of deformation and destruction of nanocomposites based on polyvinylchloride : dig. of art. VIII academic readings of RAACS – International scientific-technical conference / KGASU. Kazan, 2014. P. 8-11.
6. A method of making steel support of multi-faceted cross-section : patent 2556603 of the Rus. Federation. № 2014121172/03 ; decl. 26.05.2014; publ. 10.07.2015. Bull. in № 19. 5 p.
7. Report of chief of Central administrative of the Press N. Tatischev to the Minister of Internal Affairs, 1913 y. // RGIA, F. 785. Op. 1. D. 188. L. 307.
8. Guschin B. P. Journal key : article // PFA RAS. F. 900. Op. 1. St. un. 23. 5 sh.
9. Theory of machines // PROGNOSIS.RU : daily. internet-edit. 2010. URL: http://www.prognosis. ru/logos.html (reference date: 02.12.2016).

В список библиографических ссылок вносятся только опубликованные работы.

Название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким. Аннотация (1 абзац от 500 до 1000 знаков с пробелами) должна ясно излагать содержание статьи и быть пригодной для самостоятельного опубликования.

В разделе **«Введение»** рекомендуется указать нерешенные ранее вопросы, сформулировать и обосновать цель работы и, если необходимо, рассмотреть ее связь с важными научными и практическими направлениями. Могут присутствовать ссылки на публикации последних лет в данной области, включая зарубежных авторов.

Основная часть статьи должна подробно освещать содержание исследований, проведенных автором (авторами). Полученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть статьи должна делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками) и содержать анализ последних публикаций, посвященных решению вопросов, относящихся к данным подразделам.

В разделе **«Заключение»** должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Язык публикации: русский или английский.

Подробные требования размещены на сайте журнала!

Если статья была или будет направлена в другое издание, необходимо сообщить об этом редакции. Ранее опубликованные статьи к рассмотрению не принимаются.

От авторов в редакцию журнала предоставляются следующие материалы:

- **Два экземпляра статьи в четко распечатанном виде;**
- **Электронный вариант** (Электронная версия статьи должна соответствовать варианту на бумажном носителе);
- **Две рецензии** (соответствующего уровня) от двух независимых организаций;
- **Экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись**;
- **Сопроводительное письмо в предлагаемой форме** (см. сайт).

Материалы к публикации вложить в полиэтиленовый файл.

Датой поступления статьи считается день представления последнего из вышеуказанных материалов.

Представленные авторами научные статьи направляются на независимое закрытое рецензирование специалистам по профилю исследования, членам редакционной коллегии. Основными критериями целесообразности публикации являются новизна полученных результатов, их практическая значимость, информативность. В случае, когда по рекомендации рецензента статья возвращается на доработку, датой поступления считается день получения редакцией ее доработанного варианта. К доработанной статье в обязательном порядке прикладываются ответы на все замечания рецензента. Статьи, получившие отрицательные заключения рецензентов и не соответствующие указанным требованиям, решением редакционной коллегии журнала не публикуются и не возвращаются (почтовой пересылкой). Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей с сохранением авторского варианта научного содержания.

Журнал «Известия КГАСУ» выходит 4 раза в год, тиражом 500 экз. Журнал является подписным изданием и включен в общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ», индекс издания – 36939.

Авторы, являющиеся членами редколлегии и (или) подписчиками журнала, имеют преимущественное право на опубликование своих статей.

СТАТЬИ ПУБЛИКУЮТСЯ БЕСПЛАТНО.

Научная статья в полном объеме будет также размещена на официальном сайте «Известия КГАСУ» – электронном научном издании (ЭНИ) http://izvestija.kgasu.ru/ (Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС 77-31046 от 25.01.2008).

Все материалы направлять по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1, ОПИР, комн. 79. Телефон (843) 510-46-39, 236-26-88 (тел./факс). E-mail: patent@kgasu.ru.

Банковские реквизиты:
КГАСУ
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1
ИНН 1655018025 КПП 165501001
Сч. 40501810292052000002
в ГРКЦ НБ РТ Банка России г. Казань
БИК 049205001
Л/с 20116Х06860

Указать назначение платежа: Код дохода: 00000000000000000130 реализация изд. деят-ти.

Известия КГАСУ
2019 г., № 4 (50)

Гл. редактор: Низамов Р.К.
Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Макет и редактирование: Бибикина А.Р.

Адрес редакции: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Тел. для справок: (843) 510-46-39
Адрес издателя: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Журнал зарегистрирован: Регистр. ПИ № ФС77-25136
Электронное периодическое издание: http://izvestija.kgasu.ru Регистр. Эл № ФС 77-31046
Федеральная служба
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия.
Индекс издания – 36939
Общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ»
Распространение: свободная цена

Подп. к печати 24.12.2019 Формат 60×84/8
Заказ 259 Бумага тип. № 1
Усл.-печ. л. 58,1 Уч.-изд. л. 58,6
Тираж 500 экз.
I завод-100

Дата выхода в свет: 31.12.2019

Отпечатано в Издательстве КГАСУ: 420061, г. Казань, ул. Н. Ершова, д. 31Б