

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

Известия КГАСУ 2017 г., № 2 (40)

ББК 38
И 33
УДК 69

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

| | |
|---|--|
| Ахмадиев Ф.Г., д-р техн. наук, проф. чл.-корр. АН РТ; | Королев Е.В., д-р техн. наук, проф.; |
| Есаулов Г.В., д-р архитектуры, проф., академик РААСН; | Мирсяяпов И.Т., д-р техн. наук, проф.; |
| Ильичев В.А., д-р техн. наук, проф., первый вице-президент РААСН; | Строганов В.Ф., д-р хим. наук, проф., почетный член РААСН; |
| Каюмов Р.А., д-р физ.-мат. наук, проф.; | Сулейманов А.М. д-р техн. наук, проф. чл.-корр. АН РТ; |
| | Хозин В.Г., д-р техн. наук, проф. |

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

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

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE 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 KSUAЕ 2017, № 2 (40)

BBC 38
I 33
UDC 69

Editor-in-Chief: Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT Nizamov R.K.
Deputy Editors-in-Chief: Dr. tech. sci., prof. Sadykov R.A.

EDITORIAL BOARD:

| | |
|--|--|
| Ahmadiev F.G., Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT; | Korolev E.V., Dr. tech. sci., prof.; |
| Esaulov G.V., Dr. arch. sci., prof., member of the Academy of RAACS; | Mirsayapov I.T., Dr. tech. sci., prof.; |
| Ilichev V.A., Dr. tech. sci., prof., First Vice President of RAACS; | Stroganov V.F., Dr. chem. sci., prof., honorary m. of RAACS; |
| Kayumov R.A., Dr. phys-mat. sci., prof.; | Suleimanov A.M. Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT; |
| | Khozin V.G., Dr. tech. sci., prof. |

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

| | |
|---|--|
| Figovskiy O.L., Dr. tech. sci., prof., member of EAS, foreign member of RAACS (Israel); | Hassan Abdalla, PhD, prof. (Great Britain); |
| Fischer H.-B., Dr.-Ing (Germany); | Janotka I., Cand. 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>



| | |
|---|-----|
| ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ | |
| Ефимов Д.Д. Казанский цирк как памятник архитектуры периода советского модернизма: история проектирования и строительства, истоки формообразования, значение для развития архитектуры цирков | 7 |
| Закирова Т.Р. Творческая направленность и поиски архитектурно-художественного образа в архитектуре Казани в первые годы советской власти (1917 г. – первая половина 1930-х гг.) | 18 |
| Мустакимов В.Р., Аминов А.Р., Мустакимов А.В. Толерантность конфессии в архитектуре «Храма всех религий» в Казани | 26 |
| Тукмакова М.Р., Фахрутдинова И.А. Творческие индустрии, как метод ревитализации льно-прядильной фабрики Алафузова в г. Казани | 45 |
| АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ | |
| Бурова Т.Ю. Офис: этапы становления в формировании планировочной структуры пространства | 53 |
| Зиятдинова А.Р., Фахрутдинова И.А. Подходы к проектированию соседских пространств в контексте социологических теорий создания благоприятной городской среды | 60 |
| Иванова Е.Ю. Инновационные направления конструирования энергоэффективных ограждений | 70 |
| Короткова С.Г. Методика разработки доступной среды для МГН в эскизном проекте | 77 |
| Михайлов С.М., Филимонова Ю.М. Гендерные метафоры в архитектурной среде современного города | 86 |
| Шинкарёв А.Н., Прокофьев Е.И. Принципы организации кардиологического диагностического блока | 95 |
| ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ | |
| Нарбеков М.Ф. Развитие системы транспорта Бакинской Агломерации | 104 |
| СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ | |
| Каюмов Р.А., Шарафутдинова А.А. Об оценке долговечности строительных конструкций из стеклопластика | 114 |
| Серазутдинов М.Н., Убайдуллоев М.Н. Расчет стержневых конструкций из упрочняющихся и идеально упругопластических материалов | 124 |
| Симаков В.Д., Никитин Г.П. Теоретические основы трещиностойкости железобетонных колонн в контактных стыках | 131 |
| Хайдаров Л.И., Шмелев Г.Н., Зиятдинов Э.К. Построение расчетных схем мобильных пространственных стержневых конструкций, моделирующих их действительную работу | 139 |
| ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ | |
| Мирсаяпов И.Т., Королева И.В., Назипова Д.Р. Исследование деформаций оснований, сложенных глинистыми грунтами, при режимном длительно-статическом нагружении | 146 |
| Сиразиев Л.Ф., Сергеев Д.Н. Экспериментальные исследования влияния напластования различных грунтов на напряженно-деформированное состояние слоистого грунтового основания плитного фундамента | 153 |
| ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ | |
| Бройда В.А., Бабич Е.К. Зависимости для расчета воздушно-струйного экрана над промышленной ванной | 160 |
| Давыдов А.П., Валиуллин М.А., Димиева А.И. Технические способы изменения коэффициента расхода всасывающих отверстий различной конфигурации | 168 |
| Замалеев З.Х. Тепловой расчет гелиотермального теплоснабжения здания | 175 |
| Осипова Л.Э. Методы оценки риска эксплуатаций магистральных газопроводов | 183 |
| Осипова Л.Э., Осипов Э.В. К расчету вытяжной эжекционной системы вентиляции окрасочной камеры | 190 |
| Хабибуллин Ю.Х., Барышева О.Б. Развитие альтернативной комплексной диспетчеризации энергонасыщенных зданий | 198 |
| Шигапова А.И., Замалеев З.Х., Валиуллин М.А. Тепломассобмен при испарении водных растворов солей | 206 |
| ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ | |
| Захватов Г.И. Воздействие электрических факторов на эффективность процесса электронейтрализации водных эмульсий | 213 |
| СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ | |
| Ермилова Е.Ю., Камалова З.А., Рахимов Р.З., Мустафина А.Р. Исследование влияния добавок термоактивированных смесей на свойства композиционного цемента | 220 |

| | |
|--|-----|
| Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А.Р., Морозов В.П. Влияние добавок термоактивированного мергеля на свойства цементного камня | 228 |
| Файзрахманов И.И., Халиуллин М.И., Леклу А.-Н., Амири О. Влияние тонкодисперсных отсевов бетонного лома на деформации и трещиностойкость строительных растворов | 241 |
| Хамза Абдулмалек Кайс, Потапова Л.И., Морозова Н.Н. Исследования взаимодействий между химическим модификатором и цеолитом в водном растворе физическим методом | 249 |
| ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА | |
| Ибрагимов Р.А., Антаков А.Б., Минахметова Л.Р. Определение и сравнение норм времени при выполнении монтажных работ с использованием металлической и композитной арматуры | 257 |
| Имайкин Д.Г., Ибрагимов Р.А. Анализ нормативных требований к разработке проектов организации строительства и их влияние на качество проектной документации | 265 |
| Мудров А.Г. О новых классификационных группах пространственных смесителей | 273 |
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ | |
| Габдуллин Т.Р. К вопросу совершенствования методов нанесения дорожной разметки | 281 |
| Мавлиев Л.Ф., Вдовин Е.А., Фомин А.Ю., Буланов П.Е., Хайруллин Р.Ш. Оценка экономической эффективности зимнего содержания автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с уплотненным снежным покровом | 288 |
| Хафизов Э.Р., Вдовин Е.А., Фомин А.Ю., Мавлиев Л.Ф., Буланов П.Е., Никметзянов А.Р. Определение интенсивности движения и состава потока на улично-дорожной сети г. Казани в рамках исследования образования дефектов на дорожных покрытиях | 297 |
| Хафизов Э.Р., Семенов Д.Ю. Повышение качества дорожных покрытий путем введения в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь добавок резиновой крошки | 305 |
| ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА | |
| Барышева О.Б., Хабибуллин Ю.Х., Садыков Р.А. Математическая модель сажеобразования в пламени гомогенной углеводородовоздушной смеси | 312 |
| ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (в строительстве) | |
| Лежнина Ю.А., Хоменко Т.В. Разработка модуля «Информационное моделирование зданий» на основе компетентностного подхода | 322 |
| Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета» | 331 |



CONTENTS

| ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY, HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION | |
|---|-----|
| Efimov D.D. The Kazan Circus as an architectural heritage-listed building of the Soviet modernism period: history of design and construction, origins of the architectonic formation, importance for the development of architecture of circuses | 7 |
| Zakirova T.R. Creative direction and search of architectural and artistic image in the architecture of Kazan in the first years of Soviet power (1917-first half of the 1930s.) | 18 |
| Mustakimov V.R., Aminov A.R., Mustakimov A.V. Tolerance of confessions in the architecture of the «Temple of All Religions» in Kazan | 26 |
| Tukmakova M.I., Fakhrutdinova I.A. Creative industries as the method for revitalizing the Alafuzov's flax-spinning factory of Kazan | 45 |
| HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES | |
| Burova T.Y. Office: stages of development in the formation of planning structure of space | 53 |
| Ziyatdinova A.R., Fakhrutdinova I.A. Design approaches for neighboring spaces in a context of sociological theories of creating a friendly urban environment | 60 |
| Ivanova E.Y. Innovative direction for designing energy efficient protections | 70 |
| Korotkova S.G. Methodology for developing an accessible environment for disabled people in outline project | 77 |
| Mikhaylov S.M., Filimonova Y.M. Gender metaphors in the architecture of the modern city | 86 |
| Shinkarev A.N., Prokofiev E.I. Principles of the organization of the cardiological diagnostic block | 95 |
| URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING | |
| Narbekov M.F. Development of Baku agglomeration's transportation system | 104 |
| BUILDING STRUCTURES, HOUSES | |
| Kayumov R.A., Sharafutdinova A.A. About an estimation of operational durability of building designs from fiberglass | 114 |
| Serazutdinov M.N., Ubaidulloyev M.N. Calculation of rod structures from reinforcing and ideally elastic-plastic materials | 124 |
| Simakov V.D., Nikitin G.P. Theoretical basis of resistance to cracking of concrete columns in the contact joints | 131 |
| Khaidarov L.I., Shmelev G.N., Ziyatdinov E.K. Construction of computational schemes of mobile spatial rod structures modeling their actual work | 139 |
| FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES | |
| Mirsayapov I.T., Koroleva I.V., Nazipova D.R. Experimental studies of clay soils deformation under regime long-term static loading | 146 |
| Siraziev L.F., Sergeev D.N. Experimental studies of the influence of the bedding of various soils on the stress-strain state of a layered subsoil base of the slab foundation | 153 |
| HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING | |
| Broyda V.A., Babich E.K. Dependencies for calculating the air-jet screen over an industrial bath | 160 |
| Davydov A.P., Valiullin M.A., Dimieva A.I. Technical methods of changing the consumption coefficient of suction holes of various configurations | 168 |
| Zamaleev Z.Kh. Thermal calculation of solar heat supply of a building | 175 |
| Osipova L.E. Methods for assessing the risk of operation of main gas pipelines | 183 |
| Osipova L.E., Osipov E.V. To the calculation of the exhaust ejection ventilation system of a paint booth | 190 |
| Khabibullin Iu.Kh., Barysheva O.B. Development of alternative integrated dispatching of energy-saturated buildings | 198 |
| Zamaleev Z.Kh., Valiullin M.A., Shigapova A.I. Heat and mass transfer in the evaporation of aqueous solutions of salts | 206 |
| WATER SUPPLY, SEWERAGE, WATER CONSERVATION CONSTRUCTION | |
| Zahvatov G.I. The force of electrical factors on efficiency of electroneutralization process for water emulsions | 213 |
| BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS | |
| Ermilova E.Yu., Kamalova Z.A., Rakhimov R.Z., Mustafina A.R. The research the influence of thermoactivated mixtures on the properties of blended cement | 220 |
| Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gaifullin A.R., Morozov V.P. Effect of thermally activated marl additives on the properties of cement stone | 228 |
| Faizrakhmanov I.I., Khaliullin M.I., Leklou A.-N., Amiri O. The influence of the fine screenings of concrete waste on the deformation and fracture toughness of mortar | 241 |
| Hamza Abdulmalik Qais, Potapova L.I., Morozova N.N. Studies of the interaction of chemical modifiers and a zeolite in an aqueous solution | 249 |

| CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND ORGANIZATION | |
|---|-----|
| Ibragimov R.A., Antakov A.B., Minakhmetova L.R. The determination and comparison of time limits for installation works using metal and composite rebar | 257 |
| Imaykin D.G., Ibragimov R.A. Analysis of regulatory requirements for the development of construction projects and their impact on the quality of project documentation | 265 |
| Mudrov A.G. About the new classification groups, spatial mixers | 273 |
| ROADS, SUBWAYS, AIRPORTS, BRIDGES AND TUNNELS DESIGN AND CONSTRUCTION | |
| Gabdullin T.R. On the issue of improving road marking methods | 281 |
| Mavliev L.F., Vdovin E.A., Fomin A.Yu., Bulanov P.E., Khayrullin R.Sh. Evaluation of winter maintenance of highways of the common use of the Republic of Tatarstan with a dense snow cover | 288 |
| Khafizov E.R., Vdovin E.A., Mavliev L.F., Fomin A.Yu., Bulanov P.E., Nikmetzyanov A.R. Determination of the volume of traffic and speed of movement on the street-road network in Kazan in the framework of the study of a formation of defects on road surfaces | 297 |
| Khafizov E.R., Semenov D.Yu. Improvement of quality of road surfacing by introduction to macadam-mastic bituminous concrete mixture of rubber crumb additives | 305 |
| ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND MUNICIPAL ECONOMY | |
| Barysheva O.B., Sadykov R.A., Khabibullin Iu.Kh. Mathematical model of soot formation in the flame of a homogeneous hydrocarbon-air mixture | 312 |
| COMPUTER SCIENCE, COMPUTER FACILITIES AND MANAGEMENT (in building) | |
| Lezhnina Yu.A., Khomenko T.V. Development of module «Building Information Modeling» on the basis of competence approach | 322 |
| Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news» | 331 |



УДК 7201

Ефимов Д.Д. – аспирант

E-mail: daniel.efimoff@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

**Казанский цирк как памятник архитектуры периода советского модернизма:
история проектирования и строительства, истоки формообразования,
значение для развития архитектуры цирков**

Аннотация

Постановка задачи. В данной работе делается попытка обобщить все имеющиеся факты, относящиеся к проектированию и строительству Казанского цирка, проанализировать архитектурный образ, конструктивное решение, выявить истоки формообразования и доказать уникальность этого сооружения, его ценность для отечественного историко-культурного наследия как памятника архитектуры периода советского модернизма.

Результаты. В ходе исследования выявлено, что на архитектуру Казанского цирка повлияли различные историко-архитектурные и социально-экономические аспекты: активное формирование новой модернистской эстетики послевоенного периода советской архитектуры, бурное развитие технического прогресса второй половины XX вв. в области строительных технологий, конструкций, инженерии. Данным исследованием выявлены особенности творческого метода архитекторов, проектные приёмы, свойственные периоду советского модернизма, основанные на взаимодействии отечественного и современного зарубежного опыта в строительстве и архитектуре в сочетании с современными технологическими и инженерными достижениями СССР послевоенного периода.

Выводы. Полученные данные исследования дают представление об особенностях творческого процесса на региональном уровне при существовавшей в СССР системе централизованного и унифицированного проектирования в условиях плановой экономики, а также позволяют подробно изучить и проанализировать архитектурное наследие периода советского модернизма на примере Казанского цирка, оценить его вклад в развитие отечественной и мировой архитектуры цирков.

Ключевые слова: Казанский государственный цирк, памятник архитектуры, историко-культурная ценность регионального архитектурного наследия периода советского модернизма.

В 2017 году исполняется ровно 100 лет революционным событиям начала XX века, изменившим дальнейший ход всемирной истории. Революция 1917 года в России, так или иначе, оказала колоссальное влияние на развитие всей мировой истории, в том числе, и на развитие культуры, искусства, архитектуры и градостроительства. Так, например, шедевры русского авангарда представляют собой мировой бренд культурных достижений Советской России. При этом совершенно очевидно, что достижения архитектуры советского периода не ограничиваются периодом авангарда и конструктивизма. В истории советской архитектуры существует не менее значимый период, который принято называть эпохой советского модернизма. Казань, как центр крупнейшего региона России, в этом контексте не является исключением и обладает значительным модернистским наследием, представляющим яркое воплощение достижений послевоенной советской архитектуры [1].

Так, например, в 2017 году, продолжая тему столетия революции, свой полувековой юбилей отмечает Казанский государственный цирк, открытый 7 ноября 1967 года к 50-летию Великой Октябрьской социалистической революции (рис. 1). Здание Казанского цирка, являясь одним из ярчайших образцов интернационального стиля в мировой архитектуре, стало не только главной городской достопримечательностью эпохи социализма, но и остается на сегодняшний день единственным официально признанным памятником архитектуры периода советского модернизма в г. Казани [2].



Рис. 1. Казанский государственный цирк.
Арх. Г.М. Пичуев, инж. О.И. Берим, Е.Ю. Брудный, А. Таганцев, дир. ин-та У.Г. Алпаров.
1965-1967 гг. Фото А.А. Спориус

Примечательным является сам факт признания памятником архитектуры объекта спустя 6 лет после его постройки. Постановлением Совета Министров ТАССР № 256 от 17 мая 1973 года здание Казанского государственного цирка включено в список объектов республиканского культурного наследия. (Памятник архитектуры регионального значения № 293 Р, ст. 64 Федерального закона № 73-ФЗ от 25.06.2002 г. «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации»).

История проектирования и строительства

Необычное, современное, в форме «летающей тарелки» здание цирка на 2312 зрителей было построено в 1967 году по уникальному проекту проектного института гражданского строительства, планирования и застройки городов и поселков «Татаргражданпроект» (архитектор Г.М. Пичуев, конструктор О.И. Берим, инженер Е.Ю. Брудный, руководитель мастерской В.Д. Панова). В 1971 году авторы за оригинальную архитектуру и уникальное решение конструкций цирка удостоились золотой (О.И. Берим) и бронзовой (Г.М. Пичуев) медалей ВДНХ. А в 1972 году им, а также главному инженеру проекта (Е.Ю. Брудный), начальнику архитектурно-планировочной мастерской № 1 (В.Д. Панова) и директору института (У.Г. Алпаров) была присуждена премия Совета Министров СССР». Казанский цирк – пример удачного слияния архитектурного и конструктивного решения в одном проекте: в гармонии с архитектурной формой находилась и функция здания, следуя формуле американского архитектора Л. Салливена «форму определяет функция». Лучшим по удобству Казанский цирк назвал Ю. Никулин, посетив Казань с гастролями в 1972 году (рис. 2).

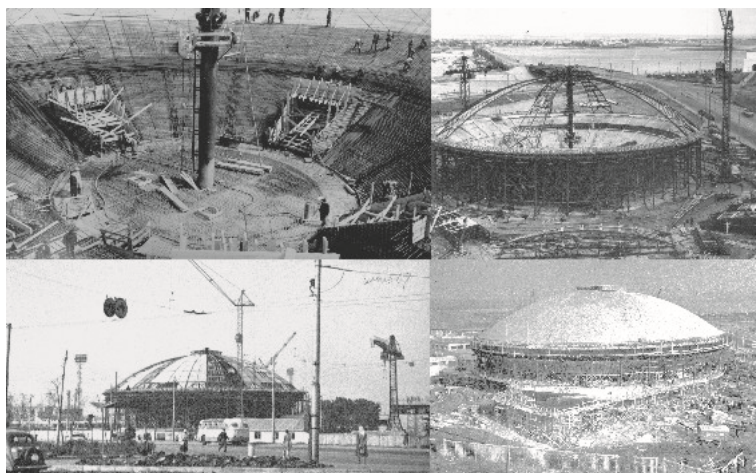


Рис. 2. Хронология строительства Казанского цирка. 1967 г. Фото В.П. Пивоваров

Уникальная и по своему драматичная история проектирования и строительства цирка в Казани началась после того, как в 1961 году сгорел старый, отслуживший свой век деревянный цирк, стоявший в центре города около сада «Черное озеро». В 1963 году руководство города получило разрешение на строительство нового капитального здания цирка на 2000 зрительских мест, а Всесоюзным ордена Ленина объединением государственных цирков Министерства культуры СССР «Союзгосцирк» было принято решение о повторном применении проекта Ярославского цирка. Проект привязки чертежей фундаментов Ярославского цирка к местным геологическим условиям и присоединения его к городским инженерным сетям был поручен местной проектной организации, институту «Татаргражданпроект». После выхода постановления от 4 ноября 1955 года «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве» на смену сталинскому архитектурному стилю пришла новая функциональная типовая архитектура – многие общественные здания по всему Советскому Союзу создавались по типовым проектам (к тому моменту подобная практика была уже вполне обычной, нормальной и общепринятой). Однако, произошел уникальный для того времени случай в практике архитектурного проектирования и строительства. Творческий коллектив проектного института «Татаргражданпроект» решил не строить цирк по предложенному проекту, а добиться получения разрешения на разработку индивидуального проекта и самому разработать проект. Получив одобрение и поддержку у местных властей, архитекторы все же не нашли взаимопонимания с заказчиком здания цирка в Казани – «Союзгосцирком». Получить разрешение на разработку индивидуального проекта такого общественного здания городского значения для периферийных проектных организаций в то время было практически невозможно. Москва крепко держала монопольное право на индивидуальное проектирование за столичными проектными институтами, оставляя за иногородними лишь привязку типовых проектов, также, в свою очередь, разработанных в центре. Попытка «Татаргражданпроекта» заинтересовать Госстрой РСФСР и «Союзгосцирк» оригинальностью и экономичностью своего проекта и получить разрешение на проектирование индивидуального здания цирка в Казани оказалась бесперспективной. Поэтому, принятый коллективом «Татаргражданпроекта» путь по претворению в жизнь своего проекта, который по существу являлся весьма тяжелым нарушением законов в строительстве, был, по воспоминаниям У.Г. Алпарова вероятно, на тот момент единственно возможным: архитекторы, упорно вынашивая свой вариант, вдребезги разбитый Москвой, подменили утвержденное решение. Строители, на удивление архитекторов и проектировщиков, выполнили незаконный проект, но при этом весь периметр диска предусмотрительно укрепили металлическими стойками, что было «смертельным» ударом по проекту и крахом всей архитектурной идеи. Но спасло чудо, им оказалось свойство бетона деформироваться под нагрузкой. По рабочему проекту верхний железобетонный пояс конуса должен получить предварительное сжимающее напряжение для предотвращения появления в нем мелких волосяных трещин, которые могли со временем привести к его разрушению. Для этого с наружной стороны пояса на него был надет обруч из металлических стержней, который путем электропрогрева подвергся сильному сжатию. Эти сжимающие усилия сократили длину пояса примерно на 30 см – что стало достаточным, чтобы пояс оторвался от опалубки и несколько приподнялся. Между опалубкой и железобетонным конусом по всему периметру образовалась щель примерно в 5 см. Железобетонная монолитная оболочка, состоящая из конуса и купола после натяжения обруча заработала как единая конструкция и всем своим огромным весом легла на нижний пояс с кольцевым мощным фундаментом, как и было предусмотрено расчетами. Это была победа, но не окончательная: было ещё испытание цирка живым грузом из солдат и суворовцев, которое завершилось победой инженерной мысли [3].

Архитектурный образ, истоки формообразования, мировые аналоги

Уникальность цирка в Казани, в первую очередь, состоит в оригинальной архитектурной идее и конструктивном решении монолитной железобетонной оболочки, практически не имевшей на то время аналогов в мире. Среди мировых примеров, которые, так или иначе, могли оказать влияние на формирование архитектурного образа и выбор тех или иных конструктивных решений, а также послужить в некотором смысле

прототипами, можно назвать лишь несколько архитектурных сооружений этого периода – это, прежде всего, Малый дворец спорта «Палацетто» (арх. Пьер Луиджи Нерви, Рим, 1957 г.) и Дворец Национального конгресса (арх. Оскар Нимейер, Бразилиа, 1960 г.).

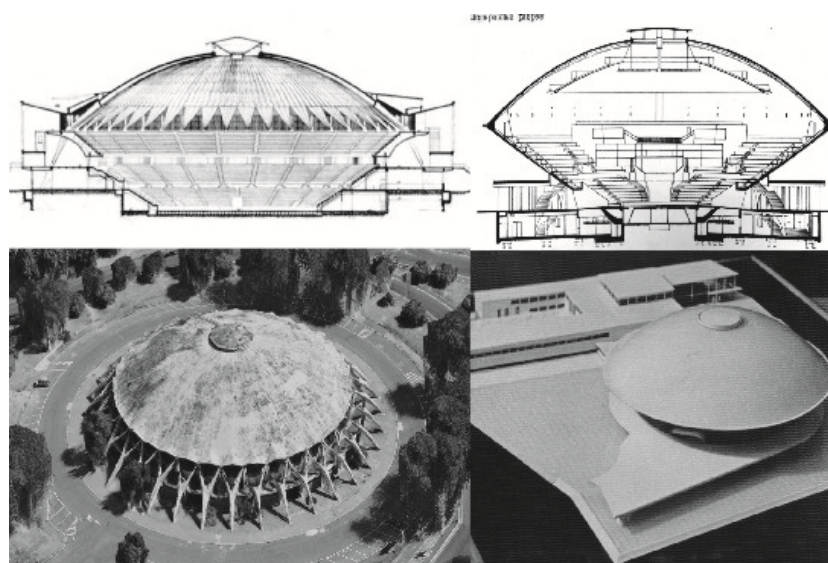


Рис. 3. Малый дворец спорта в Риме. Архитектор П.Л. Нерви, 1957 г. Разрез. Вид сверху [5].
Казанский цирк. Арх. Г.М. Пичуев. 1967 г. Разрез. Фото макета

К Олимпиаде 1960 года в Риме был построен Малый дворец спорта – волейбольная арена, спроектированная знаменитым итальянским инженером и архитектором Пьером Луиджи Нерви [5] (рис. 3). Комплекс, рассчитанный на 3500 зрителей, был перекрыт куполом диаметром 61 м из тончайших сборных армоцементных скорлуп. Перекрытая единым куполом спортивная арена стала образцом для строительства многих спортивных залов и цирков. К примеру, Московский цирк на проспекте Вернадского (арх. Я.Б. Белопольский, Е.П. Вулых) также отталкивался от этого образца, что видно при сравнении архитектурных разрезов. Как и в Палацетто П.Л. Нерви, технические и служебные помещения полностью скрыты в стилобатной части, а посетителям предстает остекленный по всей окружности шатер под складчатым куполом. Конструкцию купола представляет собой 24 металлических складки с консолью, каждая весом 30 тонн. Между внешней оболочкой и подвесным потолком зала располагаются ярусы колонников с возможностью закреплять подвесное сценическое оборудование в любой точке купола. Проект цирка включал ряд технических новшеств, а именно: киноустановки, ксеноновые прожекторы, динамики в спинках кресел, но главным оригинальным решением стала система сменных манежей. Примечательно, что проект стационарного цирка на 3000 зрительских мест совместно с архитекторами Я.Б. Белопольским, Е.П. Вулыхом и Л.В. Мисожниковым был предложен С.Х. Сатунцем еще в 1960-м г., а начавшееся в 1964 г. строительство, практически одновременно с цирком в Казани, должно было быть окончено в 1967 г., к 50-летию революции, но затянулось на долгие годы – Московскому цирку повезло меньше Казанского – открытие состоялось только в 1971 году. Тем не менее, Московский цирк на проспекте Вернадского был на то время крупнейшим в Европе и стал ярким образцом стиля художественного функционализма.

Сравнивая разрезы Казанского цирка и Малого дворца спорта в Риме можно найти еще большее сходство: в очертаниях разреза зала, трибун, накрытых куполом, в форме круглого в плане сооружения, зрительские места которого расположены амфитеатром вокруг арены. При сходстве архитектурной формы есть принципиальные конструктивные отличия. В Палацетто пологий купол пролетом 60 м несут 36 вилочкообразных, наклонных опор, передающих распор купола на фундаментную балку, расположенную вокруг здания. Наклон стоек при этом продолжает линию кровли купола, что как бы увеличивает его высоту, а вынесенные наружу контрфорсы придают зданию своеобразный и очень выразительный внешний облик. Купол представляет собой 1620 сборных армоцементных

элементов ромбической и треугольной формы, замоналиченных в единую конструкцию свода-оболочки, общая толщина которой составила 11,8 см. Верхняя точка отстоит от поверхности арены, заглубленной на 1 м ниже уровня земли, на 21 м. Внутри из центра купола расходятся ребра, фактически, готической розы. В центре купола расположен окулюс, как своеобразное напоминание о Римском Пантеоне. По краю, где сплошной купол переходил в вилочковые опоры, перед которыми был сделан контур стеклянных стен, шла полоса света, за счет чего возникало ощущение легкости. Купол был абсолютно современный, и в то же время укорененный в традиции истории архитектуры. В 1955 году вышла книга Пьера Луиджи Нерви «Строить правильно» и очень быстро, уже на следующий год была переведена на русский язык и издана в СССР, как раз вовремя, чтобы уроками Нерви могли воспользоваться советские архитекторы, вновь обратившиеся к функциональной архитектуре после 1955 года. Вполне вероятно, что и авторы казанского цирка были знакомы с проектами Нерви по этому изданию его книги.



Рис. 4. Дворец Национального конгресса в Бразилиа. Арх. Оскар Нимейер, 1960 г.
Казанский государственный цирк. Арх. Г.М. Пичуев. 1965-1967 гг. Фото: wikipedia.org

В 1960 году построен дворец Национального конгресса в Бразилиа по проекту всемирно известного архитектора Оскара Нимейера – здание в виде параллелепипеда-стилобата с расположенными на нем двумя полусферами, между которыми высится пара параллельных небоскребов высотой около ста метров (рис. 4). Полусферой-купол и полусферой-чашей перекрыты залы заседаний федерального сената и палаты депутатов. Нимейер сопоставил два контрастирующих по очертаниям и по тектонике объема: пологий купол и перевернутую чашу. Композиция предельно скульптурна и геометризована, почти макетна: над плоскостью плиты возвышаются только купол над залом заседаний сената и грандиозная, на первый взгляд атектоничная чаша, на внутренней поверхности которой логично расположился амфитеатр мест для посетителей заседаний палаты депутатов. Пластическое взаимодействие этих контрастных объемов производит исключительно сильное впечатление. Нимейер утверждал, что спроектировал их в виде полусфер исключительно из функциональных соображений, поскольку такая форма обеспечивает отменную акустику и создает дополнительный внутренний объем, в пространстве которого члены конгресса могли лучше слышать и видеть друг друга. И все же неизбежны более сложные ассоциации: полусферы похожи на рефлекторы параболических антенн. Их архитектор сделал в форме радаров для приема сигналов и радиоволн: купол принимает информацию с земли, от людей, а параболическая полусфера-чаша – с небес. Сенат с «голубым» залом заседаний, таким образом, символизирует связь с космическими энергиями, так как его чаша-радар устремлена в небо, а Палата представителей, увенчанная перевернутой чашей, плоским куполом, словно вбирающим энергию – с землей, и её зал – «зеленый». Силуэт здания контрастно вырисовывается на фоне неба как уникальное произведение искусства, знак, символ [6].

Поиску архитектурного решения и образа цирка предшествовал тщательный предпроектный анализ, поиск аналогов, изучение специальной литературы, что подтверждают воспоминания директора (в период 1961-1985 гг.) проектного института

«Татаргражданпроект» У.Г. Алпарова: «Изучение проектов зданий цирков, опубликованных в специальной литературе, показало, что все они укладываются в одну схему, вытекающую из технологии организации показа представлений. Это круглый манеж диаметром 13 м, вокруг манежа – амфитеатр – места для зрителей. Фойе, буфеты, кассы и часть подсобных помещений размещаются по кругу, за зрительскими местами под амфитеатром. Уборные для артистов, конюшни, помещения для зверей, склады и хозяйственные помещения – в пристрое на задах главного здания. Наиболее оптимальной формой главного корпуса цирка является цилиндрическое здание, перекрытое куполом. Вместо круглого, здание может быть многоугольным или прямоугольным в зависимости от местных условий. Архитектору тут особенно разгуляться негде, ему остается лишь оформление заданных объемов. Но мы должны были найти какое-то новое, отличающееся от типовых, пластическое решение».

Архитектурная идея цирка в форме диска, навешанная нимейеровским куполом и чашей Национального конгресса, по воспоминаниям У.Г. Алпарова, была предложена архитектором М.Г. Хайруллиным: «Среди многочисленных эскизов и рисунков с проектными предложениями архитекторов мы обратили внимание на черновой набросок цирка в виде открытого усеченного конуса, посаженного на узкий конец и перекрытого куполом, предложенный архитектором мастерской № 1 – М. Хайруллиным. Нам показалось, что из этого что-то может получиться, и в случае его принятия он может стать новым словом в архитектуре и конструкции цирков» [3].

С середины 1950-х годов космическая тематика стала значительно влиять не только на политику и науку, но и на архитектуру СССР. Невероятный факт того, что человек впервые смог преодолеть земное тяготение и отправить сначала спутник, а потом и пилотируемый аппарат в космос, значительно расширил горизонты ожидания и представления о возможностях. «Космический» оптимизм повлиял на архитектурные и градостроительные замыслы. В Москве были сооружены монумент покорителям космоса и Останкинская телебашня — космическое сооружение, самое высокое в мире на момент окончания строительства, вызывающее целый ряд ассоциаций – от ракеты до шприца, [7] автор которой, конструктор Николай Никитин, впоследствии принял участие в судьбе Казанского цирка, дав положительное заключение о его конструкции.

1960-е годы стали свидетелями роста популярности футуристических и утопических проектов, которые были вдохновлены советскими победами в первые годы освоения космоса. Темой космоса было вдохновлено и футуристическое новое здание Казанского государственного цирка в виде «летающей тарелки», космический силуэт которой стал ныне неотъемлемой частью современной городской панорамы, своеобразной экзотичной доминантой у подножия древнего кремлевского холма.

Конструктивное решение

Конструктивное решение цирка также было уникальным и не имевшим на то время аналогов в мире. Основными несущими конструкциями зрительного зала цирка являются две жестко сочлененные между собой монолитные железобетонные оболочки диаметром 62 м, которые одновременно выполняют роль ограждающих конструкций. Нижняя оболочка имеет форму усеченного обратного конуса, воспринимает нагрузку от всего здания и передает ее через мощные пилоны на кольцевую фундаментную плиту, покоящуюся на свайном основании. В конической оболочке имеется девять больших отверстий, четыре из них расположены на уровне фойе, остальные в средней по высоте части оболочки. Отверстия окаймлены жесткими обрамлениями. Верхняя оболочка решена в виде сферического ребристого монолитного железобетонного купола толщиной 5 см с жесткой арматурой в ребрах. Жесткая арматура ребер-арок и лепестки после монтажа образовали легкий металлический радиально-кольцевой купол, рассчитанный на восприятие веса сырого бетона, что позволило производить бетонировку купола без устройства лесов.

В центральной части купола имеется фонарное отверстие диаметром 10 м окаймленное железобетонным кольцом, к которому крепятся колосники. В месте сопряжения конической и сферической оболочек выполнено преднапряженное железобетонное кольцо диаметром 60 м, воспринимающее основные растягивающие усилия. Напряжение арматуры производилось электротермическим способом.

Таким образом, оболочка диска состояла из усеченного, пологого (30°) конуса амфитеатра зрительских мест, прорезанного форгангом (парадным выходом для артистов) и входными проемами, и из блюдца-купола диаметром в 62 метра. Предварительные расчеты, со сбором всех нагрузок, действующих на здание цирка, показали, что при диаметре конуса по нижнему поясу в 15 м, верхнему – порядка 60 м и высоте конуса 11 м, расчетная толщина стенок конуса в среднем должна была равняться 15 см, а купола – всего 5 см. Наиболее сложным для расчетов, как вспоминал У.Г. Алпаров, был сам конус, имевший к тому же многочисленные проемы – входы для зрителей, широкий форганг и раковину для оркестра, которые ослабляли прочность стенок конуса. Проектировщики также смущал и сравнительно пологий уклон конуса, всего 30° , все это требовало тщательных расчетов. Расчет конструкции оболочек производился как аналитическими методами, так и с применением ЭВМ, а также было произведено статическое испытание модели оболочки цирка, изготовленной из композитных смол в масштабе 1:50. На ней датчиками определялись нагрузки, передающиеся на различные участки конуса. В расчете оболочки принимали участие: Казанский инженерно-строительный институт, Казанский физико-технический институт, Казанский институт органической химии и др. Правильность расчетов подтвердила уникальная для того времени ЭВМ Киевского НИИ строительства и проектирования. Расчеты, выполненные аналитическим способом, повторенные на ЭВМ в Киеве и испытания на модели показали устойчивость, а также экономичность принятой проектировщиками конструкции цирка, а наблюдения за перемещениями оболочек от различных сочетаний нагрузок, произведенные после строительства, подтвердили высокую прочность и надежность сооружения.

Проект Казанского цирка показали в Москве профессору В. Н. Никитину, инженеру-конструктору с международным авторитетом, автору Останкинской телевизионной башни. Никитин проверил расчеты, просмотрел чертежи и дал письменное заключение, в котором отметил полную жизнеспособность предложенной казанскими проектировщиками конструкции и ее новизну.

Объемно-пространственное решение, планировка

Здание Казанского цирка расположено в историческом центре города, в непосредственной близости от ансамбля Казанского кремля, оно было запроектировано на территории строящегося в то время нового общественного центра города, в качестве доминанты комплекса общественных зданий, сформировавшегося в советский период. Посадка в сходящейся перспективе Булака круглого общественного здания была намечена генеральным планом в проекте республиканского стадиона еще в 1956 году (арх. П.А. Саначин, Г.И. Солдатов) [4]. Футуристическое здание цирка в форме диска, как будто приземлилось над уведенным под землю устьем исторического канала Булака. На открытом пространстве между Центральным стадионом и кремлевским холмом было решено организовать новое общественное пространство в прибрежной зоне Казанки, которое бы не спорило с древним ансамблем Казанского кремля. Размещенное у подножья кремлевского холма и хорошо обозримое со всех сторон, здание цирка обогатило силуэт центральной части города со стороны Волжского водохранилища и акватории реки Казанки и стало его неотъемлемой частью.

Ответственная градостроительная ситуация определила своеобразие объемно-планировочного и конструктивного решения здания в виде монолитной железобетонной оболочки, которая выявляется всей объемно-пространственной структурой здания. Композиция здания отличается пластической выразительностью, главным элементом, создающим своеобразный художественный образ, является зрительный зал, конструкция которого состоит из двух жестко сочлененных железобетонных оболочек, вместе создающих объем в виде огромной чечевицы, покоящейся на полу фойе.

Огромный диск зрительного зала, установленный на роялеобразный стилобат фойе, создал асимметричный объем с выразительной композицией, хорошо просматриваемой с верхней террасы города и акватории рек Волги и Казанки. Контрастируя с древней архитектурой Казанского кремля, его современный облик по-особому переплетается с архитектурой прошлого и, как бы становясь продолжением кремлевского холма, является неотъемлемой частью городской панорамы.

Цирк состоит из зрелищной части и производственного корпуса. Главным конструктивным элементом здания, определившим его архитектурный облик, стала чаша амфитеатра зрительного зала, перекрытая сферическим куполом, а уникальной особенностью всей конструкции – коническая оболочка без внутренних опор.

К амфитеатру зрительного зала примыкают вестибюли и фойе с буфетами в виде кольцевого одноэтажного объема, панорамное остекление которого обеспечило взаимосвязь внутреннего пространства с окружающей городской средой.

Над вестибюлем и фойе под конической оболочкой была запроектирована круговая видовая галерея «Сатурн» [11], с которой бы обозревалась широкая панорама города с Казанским кремлём и просторами Волжского водохранилища. На эксплуатируемую кровлю вестибюля под «тарелкой», где должна была быть смотровая площадка, можно было бы попасть из фойе, причем в любое время года. Установка мощных инфракрасных излучателей позволила бы находиться зимой на свежем воздухе раздетым и не мерзнуть.

Зрительный зал, фойе, гардеробы и открытая галерея пространственно соединены между собой четырьмя своеобразными лестницами, которые своими скульптурными зооморфными формами напоминают жирафов. Амфитеатр зрительного зала состоял из 20-и рядов. В зале находилась эстрада с площадкой для оркестра и гостевые ложи. Космическую тему в интерьере зрительного зала задавал подвесной купол из перфорированного алюминия, центральная колосниковая часть которого была экранирована декоративными алюминиевыми «сотами» и круглыми отверстиями «иллюминаторов» как будто приземлившейся на головы зрителей «летающей тарелки». Для создания киноэффектов в зрительном зале были предусмотрены киноаппаратные и поворотные экраны в подвесном куполе, а также была предусмотрена возможность проведения водных пантомим. В отличие от пластичного объема главного корпуса, производственный корпус представляет низкий протяженный параллелепипед с внутренним двориком и состоит из двух блоков: блока помещений для животных и блока артистических и административно-хозяйственных помещений.

В отделке здания были применены различные виды декоративной штукатурки, подчеркивающие неровную, грубую фактуру бетона и придающие архитектуре бруталистский характер, в оформлении интерьеров использованы алюминий, пластмассы, стекло, современные светильники которые в сочетании с панорамным остеклением, декоративными приёмами архитектурного освещения и элементами монументально-декоративного оформления должны были создавать футуристичный, космический образ. Естественный цвет необработанного бетона и брутальная поверхность снаружи и внутри усиливают впечатление огрубевшего в пути пришельца.

Для вечернего освещения фасада цирка была применена изобретённая студентами (СКВ «Прометей» КАИ) светодинамическая архитектурная подсветка. Коническая оболочка цирка подсвечивалась снизу специальной системой цветowych осветительных устройств, изменяющихся в зависимости от состояния атмосферных условий, что в вечернее время создавало яркое и красочное зрелище: как бы подчеркивая запоминающийся образ, световые эффекты вечернего освещения проецировались на поверхность диска и предавали разнообразную цветовую гамму его силуэту, дополняя своей запрограммированной специальной ЭВМ гармонией.

Казанский цирк стал одним из принципиально новых решений зрелищного здания. Внешний архитектурный облик был связан конструктивно и функционально с внутренним содержанием сооружения, с его функцией, раскрывая тему Нимейеровской чаши амфитеатра, монолитно связанной с полусферой купола цирка.

Казанский цирк как архетип, образцовый проект, оказавший влияние на архитектуру цирков, его значение для развития архитектуры зрелищных зданий.

Казанский цирк сыграл важную роль в развитии архитектуры цирков. Наряду с другими шедеврами современной мировой архитектуры был создан архетип, который повторялся, транслировался в архитектуре зрелищных зданий на протяжении всего периода советского модернизма, и прослеживается по сей день. Примером может послужить Казахстанский цирк, построенный в виде «летающей тарелки» в Астане в 2005 г. («Казгипрогор» г.Алматы, арх. Абильда Толеген) [9] (рис. 5).

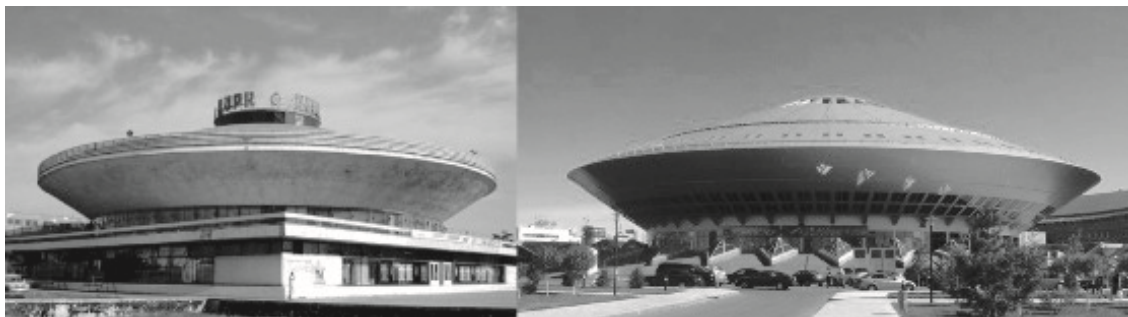


Рис. 5. Краснодарский цирк, 1970 г. Цирк в Астане, 2005 г.

Казанский цирк стал образцом для разработки типовых проектов, повторного применения и прототипом для уникальных цирков по всему СССР. К примеру, композиция Краснодарского цирка подобна Казанскому: одноэтажный прямоугольный стилобат с диском-кольцом, напоминающим планету «Сатурн» (рис. 5). Также как и в Казани, цирк в Краснодаре организует застройку одной из центральных площадей, выделяясь необычной формой: двояковыпуклая линза парит над параллелепипедом стилобата. Проект цирка на 2000 мест в Краснодаре (архитекторы М. Шульмейстер, Ю. Моторин, А. Кудрявцев, инженеры А. Титов, Т. Лебедева, М. Глинкин) был повторно применен в Николаеве, Гомеле, Ставрополе, Грозном, Запорожье [10, 11].

В путеводителе по городу Казани 1972 года цирк назван «зданием XXI века, как будто опустившимся из будущего огромным летающим диском». В августе 1969 года выездная студия Мосфильма сняла широкоформатный стереофонический фильм о Казанском цирке для ЭКСПО 70 в Японии. Макет цирка демонстрировался на международной ярмарке 1982 года в г. Лейпциге [12]. Фотографии Казанского цирка экспонировались во многих странах в составе передвижной международной выставки «Фото-СССР» и обошли все отечественные и зарубежные периодические издания, в том числе журнал «Архитектура СССР» [10, 11].

Вдохновленное темой космоса футуристическое здание Казанского цирка в форме «летающей тарелки» стало своеобразным памятником, архитектурным символом своей эпохи. Переосмысление этого периода, в рамках исторического контекста (хрущевская «оттепель», успехи в завоевании космоса) даёт ответы на вопрос, почему еще не так давно столь не популярная архитектура последнего периода социализма сегодня привлекает к себе как профессионалов, так и широкую общественность. Ответ очевиден: с одной стороны, в сооружениях эпохи советского модернизма мы видим гордость и патриотизм, воплощенный в искусстве и архитектуре того времени, а с другой – невероятно цельный и выразительный архитектурный стиль, отдельные произведения которого можно смело причислить к шедеврам мировой архитектуры [1].

Казанский цирк, спроектированный и построенный по уникальному проекту архитекторов института «Татгражданпроект», – шедевр эпохи советского модернизма, обладающий неповторимым и выразительным архитектурным обликом и художественной образностью. Такие уникальные архитектурные объекты как Казанский цирк – не только визитная карточка современной Казани, но и подлинная достопримечательность нашего города – это культурное наследие российского и мирового уровня, к которому мы давно привыкли, но еще до конца не осознаем как свое культурное достояние.

Список библиографических ссылок

1. Ефимов Д. Д., Фахрутдинова И. А. Архитектура общественных зданий периода советского модернизма как актуальная тема исследования регионального наследия (60-80 гг. 20 в.) // Известия КГАСУ. 2016. № 2 (36). С. 64–71.
2. Ефимов Д. Д. Об историко-культурной и архитектурно-градостроительной ценностях архитектуры общественных зданий города Казани периода советского

- модернизма : сб. научных трудов V-й Международной научно-практической конференции «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация» / КГАСУ. Казань, 2017. С. 125–129.
3. Алпаров У. Г. О строительстве здания цирка в г. Казани. Воспоминания директора проектного института. Казань : Татинвестгражданпроект, 2000. С. 2–20.
 4. Саначин С. П. Экскурс в архитектурную жизнь советской Казани. Иллюстрированное повествование на стыке истории и градостроительства в 1918–1991 гг. Казань : Фолиант, 2015. 240 с.
 5. Giovannardi Fausto. Pier luigi Nervi e l'arte di costruire. Florence : Borgo San Lorenzo, 2008. P. 7–14.
 6. Геташвили Н. Оскар Нимейер. М. : Директ-Медиа, 2015. С. 33–43.
 7. Belogolovsky Vladimir. Soviet Modernism: from generic to the iconic // Intercontinental Curatorial Project Inc. Istanbul. 11 may 2013. URL: <http://curatorialproject.com/lectures/sovietmodernismii.html> (дата обращения: 03.04.2017).
 8. Рабочие чертежи архитектурно-строительной части. Цирк на 2000 мест в г. Казани. Главный корпус. Перекрытие над фойе. «Сатурн» 1967 г. // Архив ГУП «Татинвестгражданпроект», Ф. Р-2343. Оп. 4-1. Д. 102.
 9. Киссамедин Г. М. «Летающая тарелка» В образе цирка Астаны (Казахстан) // Global International Scientific Analytical Project. URL: <http://gisap.eu/node/23851> (дата обращения: 03.04.2017).
 10. Чипига И. Цирки // Архитектура СССР. 1972. № 7. С. 28–30.
 11. Швецов А. Архитектура цирков // Архитектура СССР. 1976. № 8. С. 39–43.
 12. Мустакимов В.Р., Якупов С.Н., Шафигуллин Р.И. Техническое заключение по результатам инженерного обследования строительных конструкций основного здания «Казанского Государственного Цирка», расположенного на площади Тысячелетия, 2 в Вахитовском районе города Казани РТ. Казань : ГУП Татинвестгражданпроект, 2009. 153 с.

Efimov D.D. – post-graduate student

E-mail: daniel.efimoff@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**The Kazan Circus as an architectural heritage-listed building
of the Soviet modernism period:
history of design and construction, origins of the architectonic formation,
importance for the development of architecture of circuses**

Abstract

Problem statement. The article deals with the matters relating to the design and construction of the Kazan Circus. It also deals with the matters relating to the architectural image, constructive solution, and the origins of the architectonic formation. It proves the uniqueness of this structure, and its value as architectural heritage-listed building of the Soviet modernism period for the Russian historical and cultural heritage.

Results. The study revealed that the architecture of the Kazan Circus was influenced by various historical, architectural and socio-economic aspects: the active formation of a new modernist aesthetics of the post-war period of Soviet architecture, the rapid development of technical progress in the second half of the 20th century in the field of construction technologies, structures, engineering. This research reveals the peculiarities of the creative method of architects, the design techniques characteristic of the Soviet modernism period, based on the interaction of soviet and modern foreign experience in construction and architecture in combination with modern technological and engineering achievements of the USSR after the Second World War.

Conclusions. The obtained research data give an idea of the peculiarities of the creative process at the regional level, with the system of centralized and unified design existing in the USSR, under the conditions of the planned economy, and also allow to study and analyze in

detail the architectural heritage of the Soviet modernism period, using the example of the Kazan Circus, to assess its contribution to the development of the soviet and world architecture.

Keywords: the Kazan State Circus, architectural monument, historical and cultural value of regional architectural heritage of the Soviet modernism period.

References

1. Efimov D. D., Fakhrutdinova I. A. Architecture of public buildings of the period of Soviet modernism as an actual topic of research of regional heritage (60-80s of the 20th century) // *Izvestija KGASU*. 2016. № 2 (36). P. 64–71.
2. Efimov D. D. Historical and cultural, architectural and urban values of public architecture of the soviet modernism period in the city of Kazan : proceedings of the V international scientific-practical conference «Cultural heritage in the 21 century: the preservation, use and popularization» / KSUAE. Kazan, 2017. P. 125–129.
3. Alparov U. G. About the construction of the circus building in Kazan. Memoirs of the director of the design institute. Kazan : Tatinvestgrazhdanproekt, 2000. P. 2–20.
4. Sanachin S. P. Excursus in the architectural life of the Soviet Kazan. Illustrated narrative at the junction of history & urban planning. 1918-1991. Kazan : Foliant, 2015. 240 p.
5. Giovannardi Fausto. Pier luigi Nervi e l'arte di costruire. Florence : Borgo San Lorenzo, 2008. P. 7–14.
6. Getatashvili N. Oscar Niemeyer. M. : Direct-Media, 2015. P. 33–43.
7. Belogolovsky Vladimir. Soviet Modernism: from generic to the iconic // Intercontinental Curatorial Project Inc. Istanbul. 11 may 2013. URL: <http://curatorialproject.com/lectures/sovietmodernismii.html> (reference date: 04.03.2017).
8. Working drawings of the architectural and construction part. Circus for 2000 seats in the city of Kazan. Main building. Overlapping over the foyer. «Saturn» in 1967 // Archive of the State Unitary Enterprise Tatinvestgrazhdanproekt. F. P-2343. Op. 4-1. D. 102.
9. Kissamedin G. M. «Flying saucer» In the image of the circus of Astana (Kazakhstan) // Global International Scientific Analytical Project. URL: <http://gisap.eu/node/23851> (reference date: 04.03.2017).
10. Chipiga I. Circuses // *Architecture of the USSR*. № 7. P. 28–30.
11. Shvetsov A. Architecture of circus // *Architecture of the USSR*. 1976. № 8. P. 39–43.
12. Mustakimov V. R., Yakupov S. N., Shafigullin R. I. Technical conclusion on the results of an engineering survey of building structures of the main building of the Kazan State Circus, located on Millennium Square, 2 in Vakhitovskiy district of Kazan city of the Republic of Tatarstan. Kazan : State Unitary Enterprise Tatinvestgrazhdanproekt, 2009. 153 p.

УДК 72.036

Закирова Т.Р. – кандидат архитектуры, доцент

E-mail: env60@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Творческая направленность и поиски архитектурно-художественного образа в архитектуре Казани в первые годы советской власти (1917 г. – первая половина 1930-х гг.)

Аннотация

Постановка задачи. Цель статьи показать, какое огромное воздействие оказала Октябрьская социалистическая революция на развитие творческих процессов в архитектуре столицы Татарии – Казани. Раскрыть то, как сложно происходил поиск путей нового формообразования в архитектуре, поиск ее нового архитектурно-художественного образа, отражающего революционные преобразования, происходящие в государстве.

Результаты. Архитекторы и художники Казани стремились в своем творчестве не просто отразить революционную действительность, но и утвердить новые социалистические революционные идеалы. Суровая действительность диктовала простоту, лаконичность, функциональную и конструктивную обусловленность архитектурных форм. Это выразилось в господствующем тогда в Казани, стилистическом направлении – архитектурном конструктивизме.

Выводы. Внешнему облику общественных построек Казани этого периода был присущ схематизм и аскетичность образа, что отрицательно сказалось на облике города. В 20-е годы родилось новое понимание синтеза искусств. Это органичная взаимосвязь всех видов искусств на основе агитационного характера форм и полного слияния искусства с жизнью. В связи с противоречием между конкретным содержанием монументальных произведений и неизобразительным характером возникших конструктивистских форм, в Казани происходит отказ от монументального искусства. Основными элементами в синтезе с архитектурой становятся средства агитационного искусства.

Ключевые слова: творческая направленность, архитектурно-художественный образ, синтез искусств.

Введение

В настоящее время, когда Казань стала центром проведения XXVII Всемирной летней Универсиады 2013 г., Чемпионата мира по водным видам спорта 2015 г., а также предстоящего Чемпионата мира по футболу 2018 г. в городе широко развернулось строительство новых архитектурных объектов, во многом созвучных с Советской архитектурой 1920-х – первой половины 1930-х годов. Поэтому изучение творческих поисков архитекторов Казани этого периода очень важно.

Данная исследовательская работа опирается на изучение и анализ творческих процессов, происходящих в архитектуре Казани того периода на основе архивных источников, графических документов и литературы.

Советская архитектура Казани 1917 г. – первой половины 1930-х годов до сих пор освещена недостаточно. Отчасти некоторые тенденции развития архитектуры Казани первых послереволюционных лет затронуты в работах П.М. Дульского, В.П. Остроумова, В.Э. Хазановой и др. Архитектуре Казани 1920-х – начала 1930-х гг. посвящены предыдущие статьи автора, но тема архитектурно-художественного образа, затронутая в данной статье, еще не отражалась в публикациях.

Работы таких авторов, как С.С. Айдаров, Г.Н. Айдарова, И.Г. Гайнутдинов, В.В. Егерев, Н.Ф. Калинин, Х.Г. Надырова, М. Пинегин, К. Топуридзе, М. Фехнер, А.Х. Халитов, Н.Х. Халиков, Т.С. Чудинова и др. посвящены предшествующим периодам (до 1917 г.), или другим вопросам архитектуры Казани Советского периода [1, 2].

На основании вышеизложенного данная статья весьма актуальна, т. к. творческие идеи и поиски архитекторов 1920-х – первой половины 1930-х годов находят воплощение в современной архитектуре.

Основная часть

Пафос социальных преобразований в послереволюционные годы увлек миллионы людей, в том числе художников и архитекторов, которым предстояло рационально оформить новый быт новую жизнь. Необходимо показать взаимодействие художников и архитекторов в работе «над одеянием нового государства» [3, с. 23-24], то есть показать рождение нового архитектурно-художественного образа зданий.

Планировочные решения общественных сооружений Казани первых послереволюционных лет показывают, что архитекторы уже преодолели давнюю приверженность к симметрии, к равновеликости объемов. Непринужденное, но в то же время строгое сочетание асимметрично расположенных объемов, стало не только вновь открытым приемом, но и проявлением единства функционального содержания здания и его выражения в объемной композиции. Во внешнем облике построек чувствуется стремление к простоте и лаконичности, которое в первые годы Советской власти было естественным и выражало желание достичь демократичности архитектурного образа.

Рационалистическая ветвь модерна предреволюционной архитектуры Казани, учитывающая функциональные требования и возросшие конструктивные возможности, получила свое дальнейшее развитие в современном стремлении к простоте и лаконичности архитектурных форм. Целесообразность, экономичность, функциональная оправданность всех элементов все более преобладают в архитектурном творчестве. Подобные процессы, связанные с демократизацией жизни, происходили и за рубежом [4, 5, 6, 7].

Следуя принципам модерна в создании функционально обусловленной планировочной и объемно-пространственной структуры зданий, архитекторы в решении фасадов по традиции применяли схематизированные мотивы и формы ордерной архитектуры в виде подобия портика, подобия фронтона, отрезков карниза, упрощенной рустовки в разработке углов, проемов и оснований зданий, а также свойственные дореволюционному модерну большие прямоугольные проемы, железобетонные перемычки, пояса и наличники из цементного раствора. Эти черты наиболее характерно проявились в административно-учебных корпусах фабрики Кинопленки (арх. А.Э. Спорус). В сооружении же национального характера – бывшей Закабанной мечети (ул. Х. Такташ, 26, 1924-1926 гг.), построенной инженером А.Е. Печниковым, помимо некоторых перечисленных мотивов используются стилизованные мотивы средневекового болгарского и восточного зодчества, ставшие в предыдущие эпохи традиционными для Казани. Объемно-планировочное решение мечети, в отличие от традиционных татарских мечетей, включает в себя приемы модерна: ассиметричное размещение минарета и сеней, закругление южных углов основного объема здания, прямоугольное очертание михраба (алтарная часть мечети) с закругленными углами.

Логическим продолжением рационалистической ветви предреволюционного модерна Казани явилось конструктивистское направление 1920-х – первой половины 1930-х годов, которое в то же время было тесно связано с работой в Казани московских архитекторов-конструктивистов. От московских конструктивистов, видимо, распространились в архитектуре Казани метод ассиметрично раскинутой блочной или павильонной композиции, плоские крыши, выступающие над первым этажом объемы на тонких опорах, полуциркульные объемы.

Стремление к простоте, лаконичности, функциональной и конструктивной обусловленности архитектурных форм, стилистические приемы формировались у казанских архитекторов и под влиянием столичной архитектуры, и в то же время самостоятельно, начиная с дореволюционных построек рационалистического модерна Казани (так, например, в бывшем доме Зобнина по ул. Бутлерова, 14, построенного архитектором Ф.П. Гавриловым в 1914 г., мы видим использование плоской кровли), затем в работах первых послереволюционных лет казанской художественной школы и в последствии в теоретических разработках казанской организации конструктивистов – ОМА [8]. К постройкам этого направления в Казани можно отнести Дом печати (ул.

Баумана, 19, арх. С.С. Пэн, 1933-1937 гг.), бывший стадион «Динамо» (арх. П.Т. Сперанский, 1934 г.), бывший стадион «Трудовые резервы» в ЦПКиО им. М. Горького (арх. П.Т. Сперанский, 1932-1934 гг.), бывший Дворец культуры им. 10-летия ТАССР (ул. Халтурина, 26, арх. А.Э. Спориус, 1930 г.) и другие сооружения.

Во второй половине 1920-х – начале 1930-х годов в архитектуре Казани это направление стало господствующим. Архитектура конструктивизма города чаще всего маловыразительна, порой аскетична и схематична, но стилизаций под конструктивизм, получивших распространение во многих городах и так беспокоивших идеологов конструктивизма, в Казани, как нам представляется, нет. Это говорит о глубоком понимании казанскими конструктивистами природы конструктивизма, о принципиальной последовательности и зрелости их теоретических концепций. Многие концепции и идеи конструктивизма получили свое развитие в современной архитектуре и не утратили своей актуальности до сих пор.

Невиданный энтузиазм народных масс в строительстве социализма вызвал желание архитекторов отразить в образах архитектуры стремительную динамику процесса становления социалистического общества и его культуры. «Важнейшим было не просто отражение в творчестве казанских художников революционной действительности, а, их стремление к утверждению социалистических революционных идеалов» [9, с. 21]. Это стремление выразилось в советской архитектуре первых послереволюционных лет в революционном романтизме, для которого были свойственны: поиск образов-символов, огромные размеры произведений, подчеркнутая динамичность композиций, предельная обобщенность форм.

Революционный романтизм проявился в Казани в начале 1930-х годов, когда город получил возможность развернуть широкое строительство. Черты революционного романтизма можно увидеть в первом проекте генерального плана города, разработанного Московским институтом Гипрогор (1934 г., руководитель арх. В.Н. Дмитриев). В предложении площади на восточном берегу озера Нижний Кабан при выходе на улицу Татарстан авторы прибегают к преувеличенным размерам, используют динамику в решении пространства и обобщенность всех элементов. Эти же признаки можно проследить и в эскизе площади I Мая. Та же динамика, те же преувеличенные размеры и снос ради этого колокольни и Введенской церкви Иоано-Предтеченского монастыря, уникального памятника архитектуры XVII века. Черты революционного романтизма отразились и в облике, уже упоминавшегося, Дома печати, основной фасад которого представляет из себя символический образ распахнутой книги с динамикой убегающих в разные стороны строк ленточного остекления. В реальном строительстве Казани революционный романтизм не нашел больше своего воплощения, видимо, ввиду того, что не учитывал современного экономического состояния страны.

В поиске средств образной выразительности предметной среды в 20-е годы в нашей стране важную роль играл синтез искусств, в котором во главу угла ставилось агитационное искусство, возникшее в первые годы революции как новая форма политической агитации масс средствами искусства. Октябрьские, первомайские и другие торжества, митинги, представления объединили в органическом синтезе различные виды зрелищных, изобразительных искусств, музыки и архитектуры, агитационный характер которых определил их единое стилевое направление. Основой синтеза выступала городская среда, площади, улицы, парки, скверы. Суровая действительность диктовала выбор средств художникам революции: «гипс и фанера – вместо мрамора и бронзы в скульптуре; холст и кумач – вместо парчи и бархата в театре; плакатный лист – вместо фрески и смальты» [10, с. 151].

В Казани среди художественной молодежи была большая тяга к монументальным формам агитационно-массового искусства, к оформлению демонстраций, улиц, площадей, клубов и т.д. Художественным оформлением города руководил (ректор Казанских художественных мастерских) архитектор Ф.П. Гаврилов, участвовавший сам в создании праздничных трибун, временных агитационных сооружений. Так, например, в 1921 году им был сооружен мост «Октябрьской революции» на Арском поле, где ныне расположена площадь перед входом в ЦПКиО им. М. Горького. Этим работам была присуща яркость цветового решения и броскость восприятия, тем самым архитекторы и

художники хотели изменить старый город, стремясь преобразить его будничным характер, внести в него приметы нового.

Художники молодой страны Советов с помощью искусства, имеющего агитационный характер, стремились к утверждению нового быта. Эти проблемы пытаются решить и в Казани. В своих тезисах учебной программы, представленной ГлавпрофОРГУ Татарской республики, ректор Казанских художественных мастерских Ф.П. Гаврилов излагает: «Проблема искусства в производстве зарождающейся новой культуры мыслится нами, как одна из основных проблем освобожденного труда в связи с преобразованием производственной культуры и социального быта... Искусство в художественно-технической культуре – главная основа нового общественного строя. Агитационное значение искусства и полная связь красоты с социальным строем есть реальность действенной творящей жизни» [11, с. 21-22]. В одной из своих статей он пишет: «Где кончается промышленность и где начинается искусство нас пока мало интересует. Для нас одно несомненно, что оба эти начала вплотную сливаются в одно нераздельное действенное искусство – производство. Нами руководит сознание, что целесообразность, конструктивность, красота форм и выработки предмета являются основными положениями в художественно-материальной культуре нашей современности» [12, с. 8]. Эти слова Ф.П. Гаврилова предвосхищали будущую декларацию казанских архитекторов-конструктивистов.

В первые послереволюционные годы в связи с ленинским планом монументальной пропаганды огромное значение приобретает монументальное искусство скульптуры и живописи. Однако, при всем стремлении казанской художественной школы к развитию монументальной скульптуры, в Казани наступает десятилетний перерыв в скульптурном творчестве, так как в связи с отъездом в начале 20-х годов Н.И. Фешина, Г. А. Козлова, В.В. Кузнецова, В.С. Богатырева в Казани не остается ни одного скульптора [9].

В первые послереволюционные годы архитекторы и художники Казани пытаются использовать в синтезе с архитектурой монументальную живопись. На осенней конкурсной выставке 1922 года к проекту здания Татсовнаркома, ТатЦИКа и обкома партии архитектора И.А. Батанова художник К.К. Чеботарев представил эскиз серии панно для оформления зала съездов. Самой форме росписи были присущи определенная мера условности и обобщение, ставшие впоследствии характерной чертой современного монументального искусства, органично сливавшегося с простотой и лаконичностью форм современной архитектуры [13]. Современниками высоко оценивались декоративные качества этой работы.

В основном же монументальные произведения 20-х годов по своему характеру, назначению и форме исполнения были близки со станковой живописью и предназначались для оформления интерьеров старых зданий и потому не возникало противоречия росписей с формами старой архитектуры. В качестве примера можно привести дипломную конкурсную работу художника В. Л. Лаптева, написанную в 1924-1925 гг. в виде фрески на стене бывшего здания Художественных мастерских (ул. К. Маркса, 70) [9, с. 128].

Большой интерес в области синтеза искусств представляли теоретические и экспериментальные работы в 1920-1921 гг. художников Н.В. Пузанкова и С.С. Федотова по технологии материалов, по теории света и цвета. Ими была разработана техника отливки цветных гипсов, которые они пытались применить в отделке плоскостей зданий, а также в художественном оформлении вывесок, рекламы. Искусствовед П.М. Дульский в 1929 году отметил жизненную важность этих экспериментов, которым все же не удалось выйти в реальное осуществление [14].

К середине 1920-х годов в нашей стране назревает конфликт между конкретным содержанием произведений монументального искусства и неизобразительными архитектурными формами. Конструктивисты разрешают этот конфликт отказом от монументального искусства и используют в синтезе с архитектурой средства агитационного искусства. Вместо живописных панно и скульптуры на зданиях появились надписи, призывы, цветовые символы, эмблемы, знамена, получившие в руках архитекторов большую силу воздействия.

В Казани эти средства можно отметить в Доме печати, где на гладких плоскостях стен и центральном вертикальном пилоне размещены надписи-вывески, отражающие содержание здания, в облике бывшего стадиона «Динамо», в котором особое, заранее запрограммированное место занимали цветная эмблема и ритм развевающихся полотнищ знамен, венчающих спокойную линию завершения сооружения. Использование цвета и фактуры деревянных конструкций, сочетание технически осмысленных форм деревянной архитектуры и средств агитационного искусства создают подлинно органичное современное произведение. Но скульптуры «теннисистка» и «ядрометатель», выполненные приехавшим в Казань в середине 1930-х годов скульптором С.С. Ахуном и размещенные позднее вплотную перед входом на стадион, по своему изобразительному характеру, материалу и размещению противоречили облику здания, не являлись неотъемлемой частью произведения и могли с успехом отсутствовать. В данном случае не была создана возможность сотрудничества со скульптурой, она была приставлена механически, не была достигнута и качественная сопоставимость архитектуры и скульптуры, что является непременным условием синтеза.

В первой половине 30-х годов массовое строительство зачастую не удовлетворяло эстетические потребности народных масс, новый архитектурный язык не всегда находил свою выразительность, да и качество работ часто было на низком уровне и полностью снижало художественный эффект, к которому стремился автор сооружения. В то же время архитекторы начинают понимать некоторые пределы возможностей «современной архитектуры», стремящейся к достижению выразительности подчеркнуто новых форм. Особенно эти пределы ощущались в выявлении образности, духовности архитектуры. В связи с потребностью к отражению в архитектурных образах идеалов строительства социализма, архитекторы встают на путь взаимосвязи новаторства и традиций.

Пытаясь найти средства пластической выразительности, архитекторы обращаются к освоению классического наследия. В нем черпаются сложившиеся средства пластической обработки традиционных материалов (кирпича, штукатурки с покраской), которые в основном и были доступны в этот период в строительстве нашей страны и в особенности на периферии.

Вначале это освоение выражалось в сочетании формальных средств классической композиции (симметрия, детали, фактура, цвет и др.) с конструктивной правдивостью и лаконичной простотой форм современной архитектуры. Объемно-планировочные решения зданий все еще остаются прежними «конструктивистскими», а во внешний облик вводятся схематизированные классические формы, со временем все более насыщая фасады. Таким образом в советской архитектуре появляется определенный стилистический вид зданий, так называемый «обогащенный конструктивизм».

В первой половине 30-х годов здания такого характера начинают строиться и в Казани. Это первоначальный вариант театра Оперы балета, заложенного в 1933 году по проекту московского архитектора Н.А. Скворцова (получившего затем в послевоенные годы совсем другой облик), в клубе меховщиков архитектора И.Г. Гайнутдинова (1935 г.) и в его же реконструкции здания химико-технологического института (1933-1937 гг.), выполненного первоначально по проекту Г.С. Гурьева-Гуревича.

И.Г. Гайнутдинов – первый татарский архитектор в Казани, обладавший национальным образом художественного мышления, он первый обращается к освоению национального наследия. В 1934 году он строит в этом направлении школу на улице Назарбаева, 48, в которой простые лаконичные формы обогащает введением стилизованного карниза, наминавшего сталактиты, и вертикальных лопаток, заимствованных из средневековой болгарской архитектуры. Затем это направление было развито им во второй половине 30-х годов, но уже в несколько другом ключе.

Таким образом, в первой половине 1930-х годов архитекторы в своих поисках пытаются сплавить между собой завоевания конструктивизма и историческое наследие, продолжая тем самым поиски неоклассицизма Казани 1910-х годов, а также национальные традиции предшествующих эпох. Приемы, к которым обратились архитекторы в первой половине 30-х годов, не противоречили формам современной архитектуры и органично слились с ними в новом качестве.

Выводы

Внешнему облику общественных построек Казани этого периода был присущ схематизм и аскетичность образа, что отрицательно сказалось на облике города, но было обусловлено культурным контекстом и материальными возможностями того времени. В отличие от архитектуры столичных городов, характеризующейся наличием различных творческих направленностей, в архитектуре Казани 1920-х - первой половины 1930-х годов господствовал конструктивизм (что было связано с содержанием архитектурно-художественной жизни города).

В 20-е годы родилось новое понимание синтеза искусств. Это - органичная взаимосвязь всех видов искусств на основе агитационного характера форм и полного слияния искусства с жизнью. Эти тенденции прослеживаются и в казанской художественной школе, где стремятся искусство и производство слить «в нераздельное действенное искусство-производство» (Ф.П. Гаврилов). В начале 1920-х годов, когда еще не были развиты в Казани конструктивистские типы образности, архитекторы прибегают к синтезу архитектуры со средствами монументально-изобразительного искусства. И здесь наблюдаются решения с высокой мерой обобщения и условности, которые могли бы органично участвовать в слиянии с будущими архитектурными формами конструктивизма (серия картин «Весь мир насилья мы разрушим» и др. художника К.К. Чеботарева для проекта здания Татсовнаркома, ТатЦИКа и обкома партии, выполненного в 1922 г. архитектором И.А. Батановым). Но, видимо, в связи с противоречием между конкретным характером в большинстве своем монументальных произведений, станковизмом художественных приемов и неизобразительным характером возникших конструктивистских форм, в Казани происходит отказ от монументального искусства, что, конечно, обедняет облик города. В конце 1920-х-1930-х годов основными элементами в синтезе с архитектурой становятся средства агитационного искусства: надписи, эмблемы, символы, флагштоки и т.д., которые начинают играть активную роль в формировании архитектурного образа (Дом печати, арх. С.С. Пэн, 1933-1937 гг.; бывший стадион «Динамо», арх. П.Т. Сперанский, 1934 г.).

Заключение

В заключении необходимо отметить, что обращение к традициям классицизма и национального наследия в середине 1930-х годов в Казани происходит весьма быстро и естественно, что обусловлено не только влиянием столичной архитектуры и отражением процессов, происходящих в стране, но и продолжением неоклассицистических тенденций предреволюционной архитектуры Казани. Сказалось также многовековое и постоянное обращение татарского народа к своим национальным культурным истокам. Таким образом, поворот к освоению мирового классического и национального наследия – это закономерный процесс в архитектуре Казани. Быстрое обращение к традициям породило своеобразное явление в архитектуре – «обогащенного конструктивизма», в котором, как положительное, можно отметить стремление использовать гармоничность пропорций, ритм, выразительность фактуры, четкость прорисовки деталей (клуб меховщиков, арх. И.Г. Гайнутдинов, 1935 г.; здание химико-технологического института, арх. Г.С. Гурьев-Гуревич, И.Г. Гайнутдинов, 1937 г.). Тенденции обогащенного конструктивизма прослеживаются и сегодня в современной архитектуре города.

Список библиографических ссылок

1. Надырова Х. Г. Градостроительная культура татарского народа и его предков. Казань : КГАСУ, 2012. 294 с.
2. Халитов Н. Х. Стили и формы татарской архитектуры Казани 1920-х-начала 1960-х гг.: историко-архитектурное исследование. Казань : Татар. Кн. Изд-во, 2016. 247 с.
3. Художественная жизнь. 1920. № 4-5. С. 23–24.
4. Hans Wingler. Bauhaus. Weimar, Dessau, Berlin, Chicago, 2015. 680 p.
5. Marco Viraghi. Project of Crisis. Manfredo Tafuri and Contemporary Architecture, 2013. 264 p.

6. Le Corbusier. *Toward an Architecture*. Translated by John Goodman. Los Angeles: Getty Research Institute, 2007. 320 p.
7. Birksted J.K. *Le Corbusier and the Occult*. // University College London, 2009. 424 p.
8. Закирова Т.Р. Влияние архитектурно-художественной жизни на творческую направленность в архитектуре Казани в первые послереволюционные годы (1917 г. – середина 1930 г.) // Известия КГАСУ, 2014. № 1 (27). С. 13–20.
9. Червонная С. М. *Искусство Советской Татарии*. М. : Изобразительное искусство, 1978. 296 с.
10. Хазанова В. Э. *Советская архитектура первых лет Октября 1917-1925 гг.* М. : Наука, 1970. 216 с.
11. Симкин Б. *Строитель – человек. Памяти Ф.П. Гаврилова*. Казань, 1927. С. 12–25.
12. Гаврилов Ф. П. *Искусство в промышленности* // Труд и хозяйство. 1923. С. 8.
13. Валеев Н. М. *Константин Чеботарев, Александра Платунова. В поисках пути в искусстве*. Казань : Заман, 2016. 440 с.
14. Дульский П. М. *Искусство Татарской Республики за годы революции*. Казань, 1929. 16 с.

Zakirova T.R. – candidate of architecture, associate professor

E-mail: env60@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya str., 1

**Creative direction and search of architectural and artistic image
in the architecture of Kazan in the first years of Soviet power
(1917-first half of the 1930s.)**

Abstract

Problem statement. The article aims to show the enormous impact of the October Socialist Revolution on the development of the creative process in the architecture of the capital of Tatarstan – Kazan. Revealed how difficult the search for ways of new form-building in architecture and the search for its new architectural-artistic image, reflecting the revolutionary changes taking place in the state occurred.

Results. Architects and artists of Kazan aspired to not only reflect the revolutionary reality in their work, but also to establish new socialist revolutionary ideals. The harsh reality dictated simplicity, conciseness, functional and constructive conditioning of architectural forms. This was expressed in the stylistic direction prevailing then in Kazan - architectural constructivism.

Conclusions. The outward appearance of Kazan's public buildings of this period was characterized by schematism and asceticism of the image, which had a negative effect on the appearance of the city. In the 1920s a new understanding of the synthesis of arts was born. It is an organic interconnection of all kinds of arts on the basis of the agitational nature of forms and the complete fusion of art with life. In connection with the contradiction between the concrete content of monumental works and the non-pictorial character of the constructivist forms that have arisen, in Kazan there is a refusal of monumental art. The main elements in the synthesis with architecture are the means of agitation art.

Keywords: creative direction, architectural and artistic image, the synthesis of the arts

References

1. Nadirova H. G. *The town-planning culture of the Tatar people and its ancestors*. Kazan : KGASU, 2012. 294 p.
2. Halitov N.H. *Styles and forms of the Tatar architecture of Kazan 1920-early 1960es : historical and architectural research: monograph*. Kazan : Tatar. Kn. Izd-vo, 2016. 247 p.
3. *Artistic life*. 1920. № 4-5. P. 23–24.
4. Hans Wingler. *Bauhaus*. Weimar, Dessau, Berlin, Chicago, 2015. 680 p.

5. Marco Biraghi. Project of Crisis. Manfredo Tafuri and Contemporary Architecture, 2013. 264 p.
6. Le Corbusier. Toward an Architecture. Translated by John Goodman. Los Angeles : Getty Research Institute, 2007. 320 p.
7. Birksted J. K. Le Corbusier and the Occult // University College London, 2009. 424 p.
8. Zakirova T. R. The impact on the architectural and artistic life of the creative direction of Kazan architecture in the first years after the revolution (1917-mid-1930 yy.) // Izvestiya KGASU, 2014, № 1 (27). P. 13–20.
9. Chervonnaya S. M. Art of Soviet Tatarstan. M. : Khudozhestvennaya Zhizn, 1978. 296 p.
10. Hazanova V. E. Soviet architecture of the first years of October in 1917-1925. M. : Nauka, 1970. 216 p.
11. Simkin B. Builder – man. Memory F.P. Gavrilova. Kazan, 1927. P. 12–25.
12. Gavrilov F. P. Art in the industry // Trud I Khozyaystvo. 1923. P. 8.
13. Valeev N. M. Konstantin Chebotarev, Alexander Platunova. Finding ways in art. Kazan : Zaman, 2016. 440 p.
14. Dulsky P.M. Art of Tat Republic during the revolution. Kazan, 1929. 16 p.

УДК 72.03

Мустакимов В.Р. – кандидат технических наук, доцентE-mail: Mustakimovvr@yandex.ru**Аминов А.Р.** – студент**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Мустакимов А.В. – архитектор**ГУП «Татинвестгражданпроект»**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Чехова, д. 28

Толерантность конфессий в архитектуре «Храма всех религий» в Казани

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является комплексное исследование зданий и сооружений в составе Храма всех религий, изучение его архитектурных особенностей и историко-культурной значимости комплекса. По поручению руководства РТ авторами исследования произведена оценка технического состояния несущего остова возведенной части комплекса и выполнен аналитический обзор всех купольно-конических форм покрытия своеобразно размещенных И. Хановым над кровлей комплекса.

Результаты. Приведены результаты исследования объекта культурного наследия «Храма всех религий». Обзор и анализ зрительных рядов аналогов, с которых И. Ханов формировал образ купольно-конических систем, толерантно размещенных на покрытии храма.

Выводы. И. Ханов творчески перерабатывал наиболее характерные черты культовой архитектуры различных религиозных конфессий, превращая их в своеобразные узнаваемые символы и не стремясь к типологическому правдоподобию. Ведь он создавал не храм, а воплощал в архитектурных формах идею духовного единения людей различных вероисповеданий. Этот «букет» из куполов, главков, башен, шатров и рассчитан на восприятие извне, и поэтому притягивает взоры многих туристов. Формы башен, куполов и их архитектурно-декоративное оформление является такими, какими видел их сам автор комплекса. В этом особенность и ценность этого комплекса.

Ключевые слова: толерантность, конфессии, купольно-конический.

В новейшей истории Татарстана произошло много знаменательных событий, которые вызывают восторг, уважение и признательность творческому началу, таланту и мудрости нашим современникам-зодчим, бережно сохраняющим историко-архитектурное и культурное наследие, а также создающим новые значимые объекты. Среди зданий и сооружений, возведенных за исторический период, второй половины XX начала XXI в. в Казани, можно выделить: здание цирка, мечеть Кул-Шариф, футбольно-легкоатлетический манеж, вантовый мост Миллениум, стадион на 45000 зрителей, дворец водных видов спорта, спортивные сооружения Универсиады.

Наряду с объектами государственного финансирования и строительства, в Казани имеется объект общественно-культурного назначения, который задуман и возведен по эскизам автора на частной территории собственными силами за индивидуальные средства и пожертвования. Замысел всего объекта и его воплощение в жизнь следует относить к творчеству художника, скульптора, целителя, заслуженного деятеля искусств Республики Татарстан Ильдара Ханова (03.11.1940 г.-09.03.2013 г.) [1]. Комплекс зданий и сооружений в составе «Храма всех религий», именуемый также «Вселенский храм», расположен по ул. Старая Аракчинская, 4, в п. Старое Аракчино, Кировского района г. Казани РТ (рис. 1).



Рис. 1. План расположения зданий и сооружений комплекса «Храм всех религий» в поселке Старое Аракчино, Кировского района города Казани (аэрофотосъемка участка)

«Храм всех религий», оценивается ведущими специалистами РТ и Международным культурным центром духовного единения, как объект культурного наследия (ОКН), являющийся частью культурного наследия и местом посещения огромного числа туристов. Строительство комплекса «Вселенского Храма» началось в 1994 году. Автор, в своем творении передал потомкам понимание того, насколько близки и чисты помыслы веры, не зависимо от того, к какой религии принадлежит человек. Признание комплекса, как объекта способствующего формированию у людей толерантного отношения ко всяким религиям, получено со стороны Министерства культуры и высшего руководства Татарстана. Активное участие в продвижении идеи автора о толерантном отношении между многочисленными религиями в Татарстане и мире, принимает советник президента Республики Татарстан Шаймиев М. (Техническое заключение комплекса зданий и сооружений «Храма всех религий», в с. Аракчино, г. Казани. Зак. № 9048, инв. № ТО-12128, ГУП ТИГП, Казань. 2017. с. 158).

Авторами, в период с марта 2016 г. по январь 2017 г., проведено обследование всех зданий комплекса с научно-теоретической и практической оценкой объемно-планировочных и культовых решений, а также технического состояния несущего остова эксплуатируемой, вновь возведенной и незавершенной строительством части объекта. Выполнен аналитический обзор и историко-культурная, архитектурно-художественная и религиозно-конфессиональная оценка всех купольно-конических архитектурных форм, своеобразно и толерантно размещенных И. Хановым над кровлей храма (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид комплекса зданий и сооружений «Храма всех религий» по состоянию на 2017 г.: а) вид на храм со стороны реки Волги; б) незавершенная строительством часть комплекса

По замыслу создателя комплекса, храм является лишь символом мировых культур, религий и цивилизаций, поэтому службы и обряды здесь не проводятся. В храме гармонично дополняют друг друга основные символы православной церкви, мусульманской мечети, пагоды, иудейской синагоги, а также элементы многих других культовых и религиозных объектов мира. Предполагается терпимое взаимодействие 16-ти основных мировых религиозных течений. Среди купольно-конических форм храма, исследователями выделяются следующие классификационные типы:

- Бахайская башня с символом Бахаи «Баха» (бабочка «Бахаи»);
- Буддистский купол, имеющий сходство с куполом храма Боробудур, на венчающей части которого, установлен символ Буддизма «Дхармачакра» или колесо Закона;
- Иранский купол (луковичной формы), который оценивается исследователями критически, так как не соответствует по форме традиционным ближневосточным куполам и стилистике ближневосточной архитектуры;
- Католический купол оцениваемый, как мало соответствующий своим аналогам;
- Башня Вселенского храма, напоминающая Католическую башню, но металлические элементы не характерны для декоративной отделки подобных башен;
- Мусульманские купола соответствуют облику исламской архитектуры, имеющие луковичную и шлемовидную форму;
- Мусульманские минареты, стрельчатой формы, используемые в традиционной татарской архитектуре;

- Православные купола, соответствующие образу православного купола;
- Купол Синагоги, выполненный со своеобразными эклектичными представлениями о куполах Синагог.

В комплексе храма имеется отдельно стоящая башня с купольной символикой Синтоизма.

В работе представлен зрительный ряд аналогов, с которых автор формировал образ своих купольно-конических конструктивных систем. Геометрические формы куполов и их образ является такими, какими представлял и видел их сам автор. И. Ханов работал над образами купольно-конических форм и возводил здание храма, прежде всего, как скульптор-художник-архитектор. Образы куполов он трактовал по своему, подражая тем или иным аналогам. Мотивы для реализации своих замыслов скульптор И. Ханов черпал из различных культовых религиозных объектов и сооружений, откуда и брал ассоциативные решения, воплощенные в купольно-конические системы покрытия и башни. Работая как скульптор, он располагал купола и башни разных религиозных конфессий с композиционной точки зрения, с целью избежать композиционных неточностей, и, вследствие этого, купола и минареты не соотносятся по религиозному признаку.

По мнению авторов исследований, высотность куполов и башен, в общей композиции комплекса, обусловлена распространенностью каждой отдельной религии в мире, тем самым демонстрируя представление о делении религиозного мира.

В систематизированном виде аналитическо-сопоставительный обзор архитектурной стилистики и форм куполов и минаретов, возведенных над покрытием «Храма всех религий», в сравнении с традиционными и классическими образами и религиозными символами приведен на рис. 3-28. Подробные результаты проведенных авторами историко-архивных, архитектурно-строительных, инженерно-геологических, гидрогеологических и топографо-геодезических исследований приведены в работах [6-8].

В функционирующую часть комплекса «А» входят: одноэтажный деревянный сруб жилого дома семьи Хановых, который в настоящее время переоборудован в музей; надстроенные над жилым домом-музеем 1-2-этажные корпуса со стенами из каменных конструкций с надстроенными над скатной крышей купольно-коническими конструкциями различной геометрии и религиозно-конфессиональной принадлежности. В состав помещений функционирующего блока «А», кроме музея, входят помещения фойе, экспозиционных и зрительного залов (рис. 3).

В незавершенную строительством часть храма, корпус «Б» входят разновысотные кирпичные здания, о функциональном назначении которых, пока только можно делать предположения, так как отсутствует проектная документация. В настоящее время часть из этих помещений временно используется в качестве художественно-производственных мастерских по изготовлению мозаичных, декоративных, бетонных, железобетонных, гипсовых, столярных скульптурных изваяний и изделий, используемых в строительстве и отделке «Храма всех религий».

Всего в комплексе «Храма всех религий» установлено 16 конструкций купольных систем и минаретов (купольно-конических конструкций). В составе объемно-планировочных решений насчитывается пять зальных помещений, каждый из которых представляет собой определенную конфессию или культуру. Вместе с тем, установлено, что зальные пространства и купольно-конические системы не имеют прямую функциональную связь между собой. На схемах представлены места расположения купольно-конических систем относительно зальных пространств храма (рис. 3).

Купол-луковица имеет выпуклую форму, плавно заостряющуюся к вершине, похожую на луковицу. Чаще всего такие купола применяются в России, Турции, Индии и на Среднем востоке. Купола такой формы используются при строительстве храмов русской православной церкви. Они имеют больший диаметр, чем основание, на котором они установлены, а их высота обычно превышает ширину. Для наиболее распространенной луковичной главы соотношение диаметра барабана (башни) к диаметру широкой части (пучины) главы составляет 1:1,382, а к высоте главы 1:1,618.

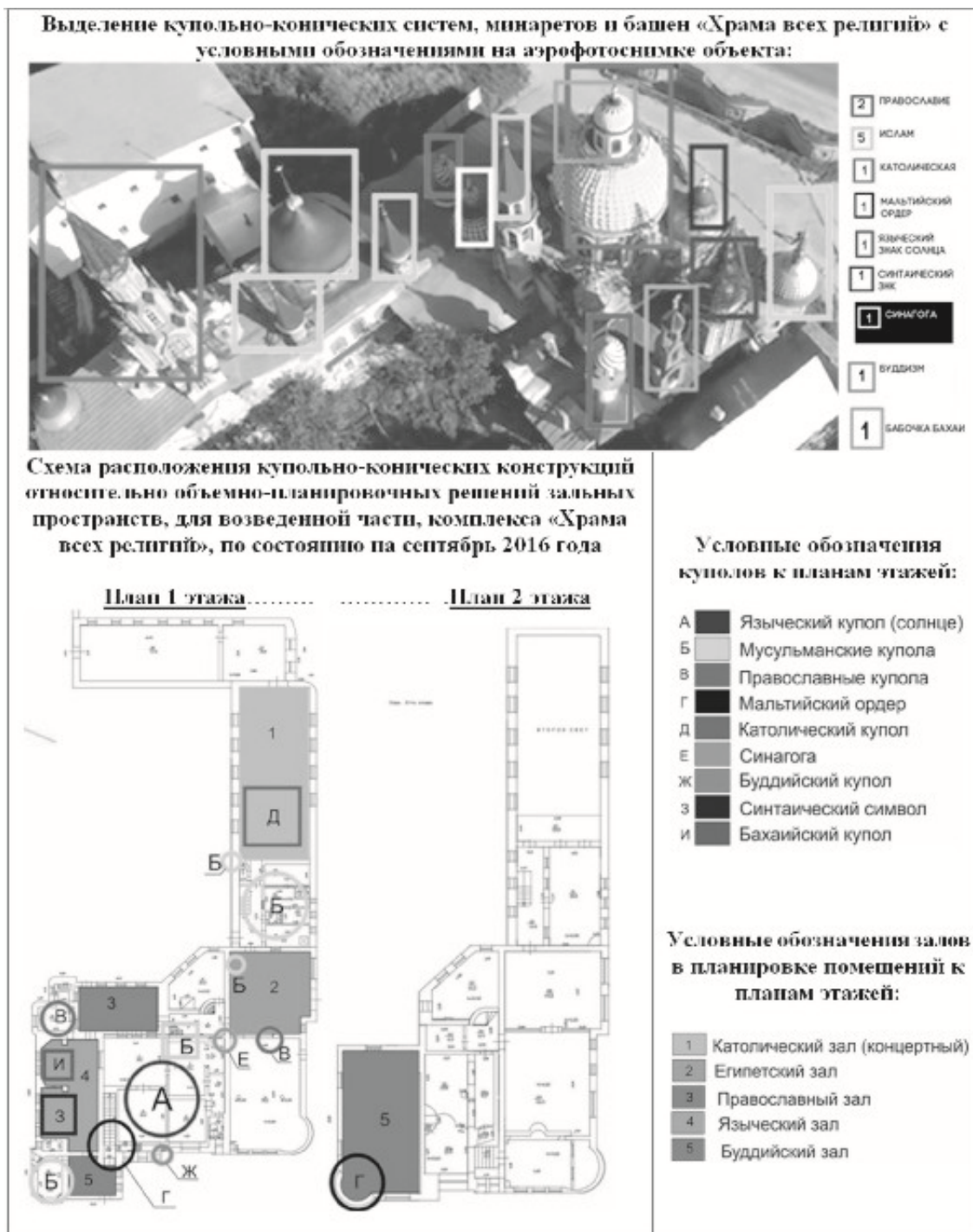


Рис. 3

Купол в форме луковицы символизирует пламя свечи. «Наша отечественная луковица воплощает в себя идею глубокого молитвенного горения к небесам, через которые наш земной мир становится причастным к потустороннему богатству. Это завершение русского храма – как бы огненный язык, увенчанный крестом и к кресту заостряющийся» Е.Н. Трубецкой.

На основании сопоставительного анализа, можно сделать вывод, что Православные купола «Храма всех религий» соответствуют общему стилистическому и архитектурному образу традиционных куполов (рис. 4-5).

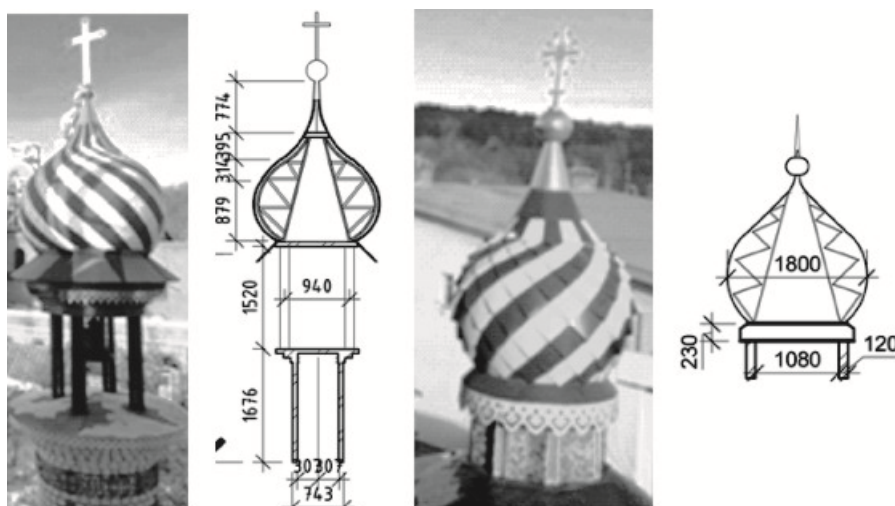


Рис. 4. Православные купола «Храма всех религий» в Казани

Купол Храма Василия Блаженного
в Москве, 1561 г.Храм Христа
Спасителя
в Москве, 1812 г.Купол Храма на крови
в Санкт-Петербурге,
1907 г.Рис. 5. Зрительный ряд традиционных отечественных и зарубежных форм куполов
Православных храмов

Для архитектуры Синагог характерен мавританский стиль. В этом стиле, возведено множество Синагог во всем мире. Например, большая Синагога в Риме, большая Синагога Флоренции, большая Синагога в Варшаве, большая Хоральная Синагога в Санкт-Петербурге и многие другие. Купол большой Синагоги Флоренции выполнен из меди, которую искусственно окислили, чтобы храм выделялся на Флорентийской панораме. Слои травертина и гранита чередуются в кладке, создавая полосатый эффект. Такой же эффект чередования наблюдается на иудейском куполе, возведенным над покрытием комплекса «Храма всех религий» в Казани.

Синагога, по ряду причин, на протяжении большого периода не имела возможности сформировать свою архитектуру Синагог. Зачастую Синагога располагалась там, где предоставлялась возможность ее организации. В зрительном ряде аналогов Синагог приведены их наиболее яркие примеры, которые способны сформировать некий образ того, как должна выглядеть Синагога. В качестве архитектурного стиля Синагог, отмечается: эклектика и мавританский стиль (рис. 6-7).

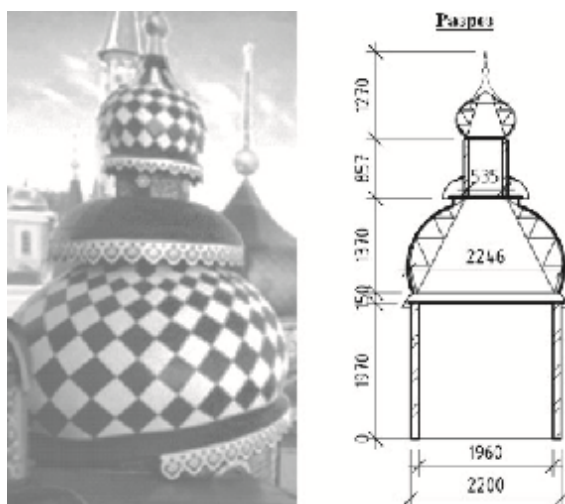


Рис. 6. Купол Синагоги «Храма всех религий» в Казани

Большая Синагога
в Будапеште, 1959 г.

Новая Синагога в Берлине, 1866 г.

Большая хоральная Синагога
в Санкт-Петербурге, 1893 г.

Рис. 7. Зрительный ряд традиционных и классических форм куполов Синагог

Архитектура храмов разнообразна, хотя существует несколько традиционных стилей, которым следуют в большинстве случаев. Во всех случаях главные здания имеют форму прямоугольника, по углам которого располагаются вертикальные столбы, поддерживающие крышу. В некоторых случаях хондэн и хайдэн могут стоять вплотную друг к другу, при этом для обеих построек сооружается общая крыша. Традиционно храмы строились из дерева. В настоящее время храмы, особенно в черте города, обычно строят из современных строительных материалов, таких как кирпич и железобетон, кровля выполняется металлической. Это диктуется требованиями пожарной безопасности. Есть святилища без зданий, которые представляют собой прямоугольную площадку с установленными по углам деревянными столбами. Столбы соединяются соломенным жгутом, а в центре святилища располагается дерево, камень или деревянный столб. Перед входом на территорию святилища располагается как минимум один тории – сооружение подобное воротам без створок. Торией считаются воротами в место, принадлежащее ками, где боги могут проявляться и где с ними можно общаться. Торией могут быть одни, но их может быть и большое количество. Считается, что человек, удачно завершивший какое-то масштабное дело, должен пожертвовать какому-либо храму тории. От тории к входу в хондэн ведет дорожка, рядом с которой помещаются каменные бассейны для омовения рук и рта. Перед входом в храм, а также в других местах, где как считается, постоянно находится или могут появиться ками, вешиваются симэнава – толстые жгуты из рисовой соломы. Непосредственно перед

входом располагаются комаину – пара статуй, напоминающих смесь льва и собаки, представляющих собой мистических стражей.

Купола для синтоистской религии не характерны. Однако купола этой религии в «Храме всех религий» имеют свойственную колористику и форму. В первом куполе конструктивный элемент имеет многоуровневую структуру, символизирующую многоярусность кровель синтоистских храмов. Второй из двух куполов имеет черно-красное цветовое решение, характерное для этой религии (рис. 8-9).

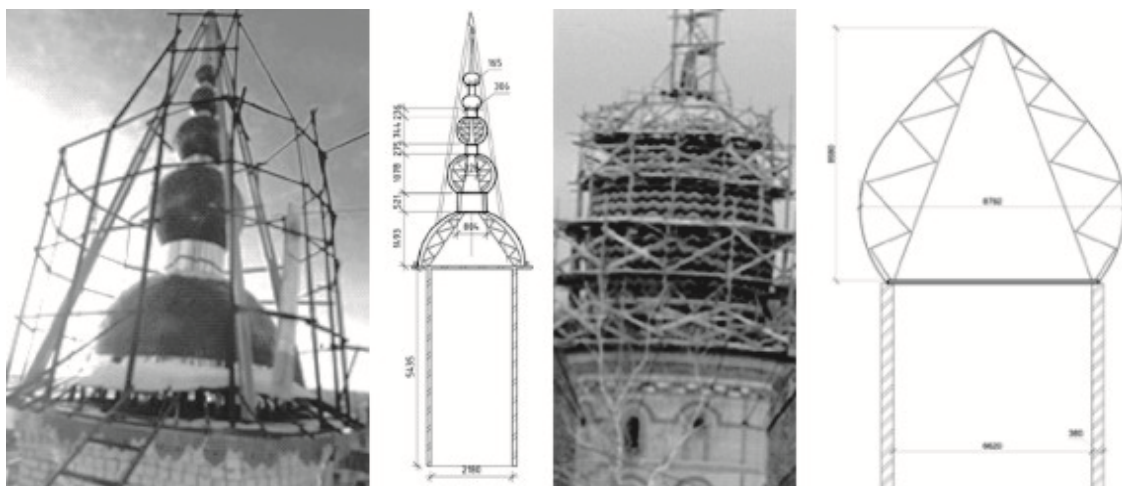


Рис. 8. Синтоистские купола «Храма всех религий» в Казани



Храм Ицукусима, VI в.

Святоилице Тосёгу, 1868 г.

Рис. 9. Зрительный ряд традиционных и классических форм Синтоистских храмов

Главный купол «Храма всех религий» или «Вселенского храма» посвящен языческой вере, олицетворяющий солнце. Именно эта аналогия является ключевой в назначении этой башни как главенствующей над всеми остальными высотными акцентами. Исходя из этого, основания идея храма состоит том, что «Солнце» и «Космос» являются высшими материями во вселенной, поэтому в названии храма фигурирует ключевое слово – Вселенский. Ранее предполагалось размещение в этой башне обсерватории.

Коловрат или солнцеворот – один из древнейших древнерусских символов, олицетворяющий Солнце и солнечных богов Сварога, Дажьбога и Хорса. От слова «коло» – солнце и произошло название символа. Сам символ выглядит как круг с загнутыми лучами (рис. 10-12).

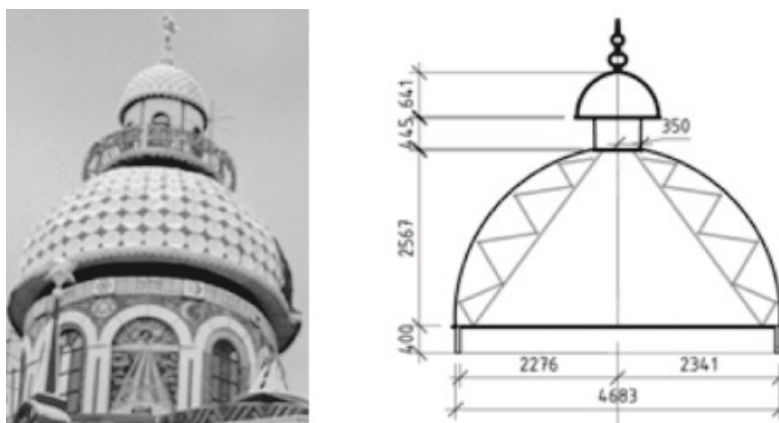


Рис. 10. Языческий купол «Храма всех религий» в Казани



Рис. 11. Символ Коловрат или Солнцеворот



Купол Пантеона

Разрез Пантеона

Пантеон в Древнем Риме,
126 г.н.э.

Рис. 12. Зрительный ряд традиционных и классических форм Языческих куполов храмов Солнца

В архитектуре Домов Поклонения воплощается отношение последователей Веры Бахаи к окружающему их обществу. Храмы представляют собой открытые светлые помещения. Их композиция и убранство формируется местными культурными традициями, и наглядно отражают идею Бахаи о единстве в многообразии. Для Домов Поклонения Бахаи свойственна девятигранная форма центрального помещения и наличие купола. В таком устройстве храма символически отражается идея единства – люди попадают в храм через разные входы, но затем сходятся вместе, чтобы поклониться единому Создателю. Завершает башню бахаистский символ – бабочка Бахаи. Поэтому она считается башней именно этой религии.

Завершением башни является стилизованный символ Бахаи «Баха». Именно этот символ относит купол башни к религии Бахаи. Конструктивная схема кирпичной башни «Храма всех религий», ее форма купола оценивается, как не характерными для архитектуры храмов Бахаи (рис. 13-15).

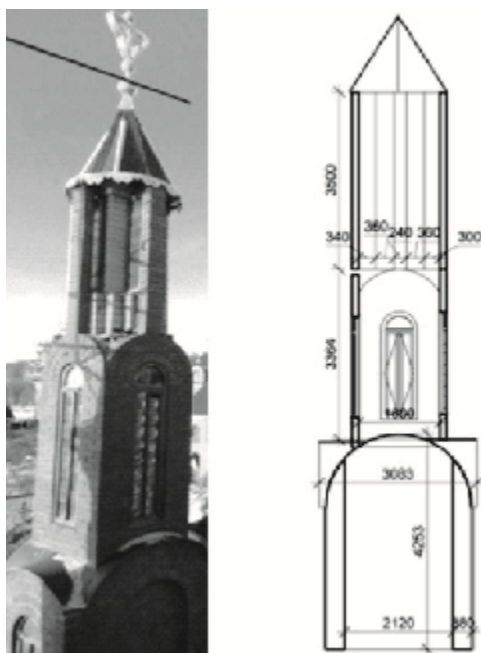
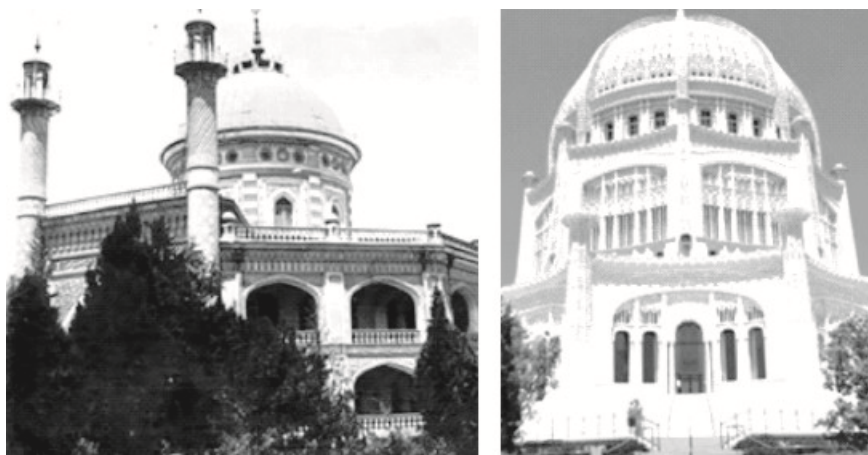


Рис. 13. Башня с символикой Бахаи над «Храмом всех религий» в Казани



Рис. 14. Символ Бахаи «Баха»



Храм веры Бахаи в Ашхабаде, 1907 г. Бахайский храм в Чикаго, 1953 г.

Рис. 15. Зрительный ряд традиционных и классических форм куполов храмов Бахаи

Техническим прорывом архитекторов готики явилось открытие ими нового способа распределения нагрузки. Установлено, что вес и давление каменной кладки могут концентрироваться в определенных точках, и если их поддержать именно в этих местах, другими элементами постройки уже не обязательно быть несущими. Так возник готический каркас. Новаторство технического решения состояло в следующем: свод перестали опирать на сплошные стены здания, массивный цилиндрический свод заменили ажурным нервюрным крестовым, давление этого свода передается нервюрами и

арками на столбы (колонны). Возникающий таким образом боковой распор воспринимается аркбутанами и контрфорсами.

Конструкция готического остова в башне «Храме всех религий» выполнена иным образом, отличным от классического способа. Стены башни выполнены из сплошной кирпичной кладки «под расшивку швов». На фасадной части присутствуют декоративные элементы, стремящиеся подчеркнуть готический образ. В характерных чертах готики выполнены оконные проемы (рис. 16-17).

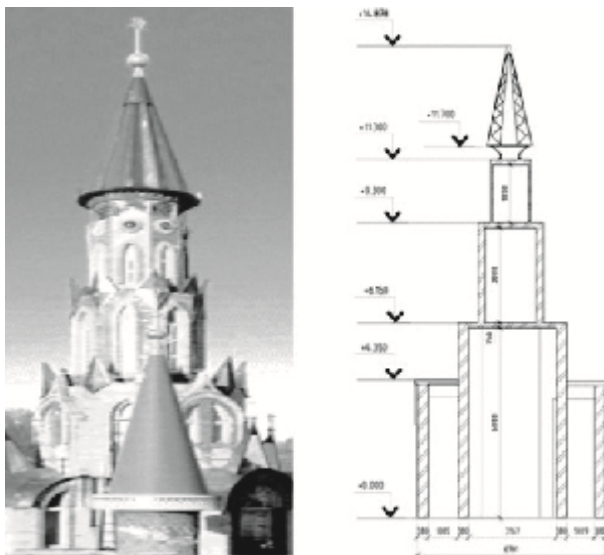


Рис. 16. Католическая (Готическая) башня стрельчатой формы «Храма всех религий» в Казани



Вавельский собор Святых Станислава Вацлава
в Кракове, XI в.

Готический собор
на Васильевском острове, XIX в.

Рис. 17. Зрительный ряд традиционных и классических форм
Католических (Готических) башен стрельчатой формы

Особенное значение в храмовых ансамблях буддийской культуры имеет пагода. Шпиль, которым заканчивается буддийская пагода, располагается обычно на центральной колонне, под которой хранят драгоценности. Этот клад символизирует прах Будды. Однако, мало кто знает, что прототипом для этой пагоды послужила индийская ступа – полушарие из земли и камня. Буддийские храмы отличаются особым устройством карнизов: они загибаются настолько мягко и изящно, что принимают вид практически горизонтального расположения. Крышам свойственен шатрово-щипцовый стиль. Высота зданий принимается относительно небольшой, так как не должна быть нарушена гармония с окружающей природой. В декоре буддийских храмов преобладают жёлтый и красный цвета. Очень оригинально смотрится магическая охрана буддийских храмов, застывшая в камне. В углах крыши скалятся каменные мифические чудовища, которые символизируют злые силы, удерживаемые на расстоянии от храмов. Исследование и анализ зрительного ряда классических форм куполов Будды буддистских храмов позволяет констатировать, что главной отличительной особенностью буддийской архитектуры является многоярусность пагод и ступ. По образу и форме многоярусный купол «Храма всех религий» имеет сходство со ступами буддийского храма Боробудур. (рис. 18-19).

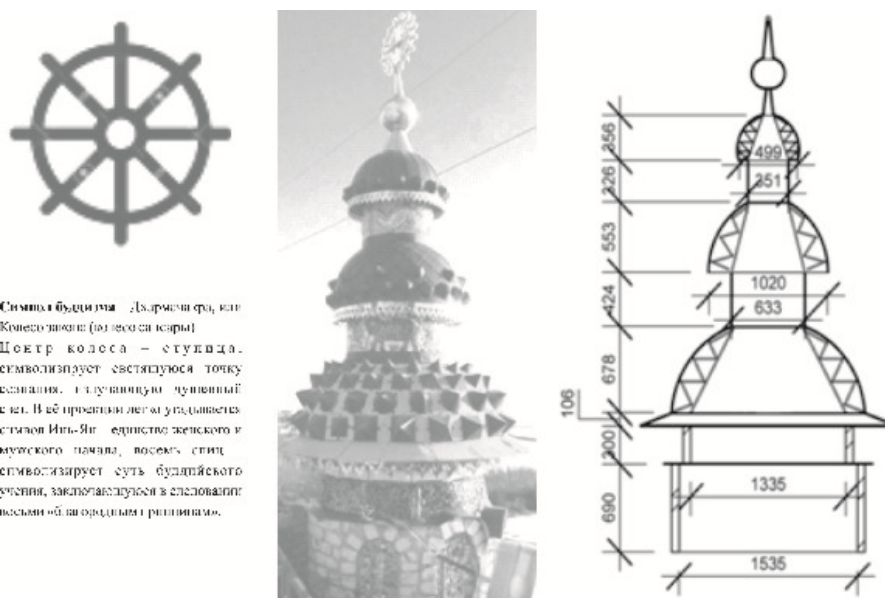


Рис. 18. Буддийский купол «Храма всех религий» в Казани



Буддийский храм Боробудур, 825 год от Рождества Христова

Ступа Боднатх в Катманду, V в. н.э.

Рис. 19. Зрительный ряд традиционных классических форм куполов Будды буддистских храмов

Купол в персидском языке видимо, не случайно называется гонбад. Это слово означает «небо». Купол – гонбад и сводчатый потолок символизируют небосвод (по-персидски «асман» – «небо»), то есть купол – это символ небосвода, куполообразное пространство под ним – олицетворение земли, а дугообразная форма купола – это кольцо связи между небом и землей. Поэтому и привычная геометрическая форма купола также имеет определенное символическое назначение. Специфическая форма постройки религиозных сооружений в виде куба с куполом перешла в исламскую архитектуру из более древней, доисламской геометрической символики. Эта выразительная форма приняла в архитектуре ислама символическое значение: куб воспринимался как символ устойчивости, символ «правильности», утверждаемой в земной жизни, а купол над ним стал символом Неба и Космоса.

В системе куполов над комплексом «Храма всех религий» купол темного цвета с характерной символикой называется иранским. Однако по форме он не относится к традиционным типам купольных систем иранской архитектуры. Купол имеет ярко выраженную луковичную архитектурную форму. Характерной чертой является арабская каллиграфия на барабане купола. Облицовка купола выполнена из меди, что и придает ей темно коричневый цвет в результате окисления меди на воздухе (рис. 20-21).

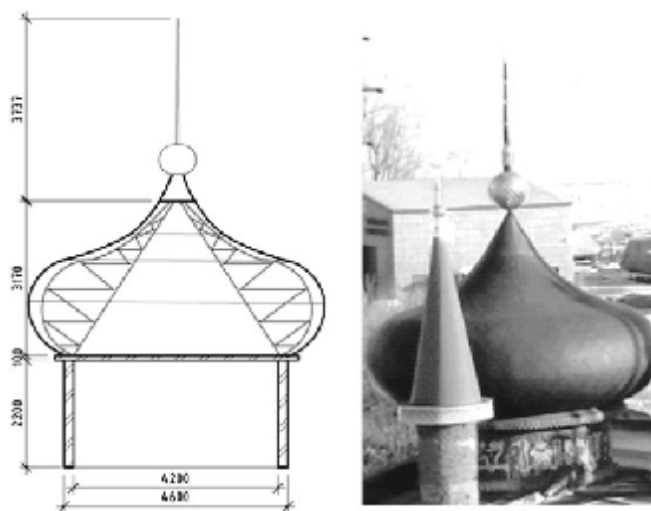
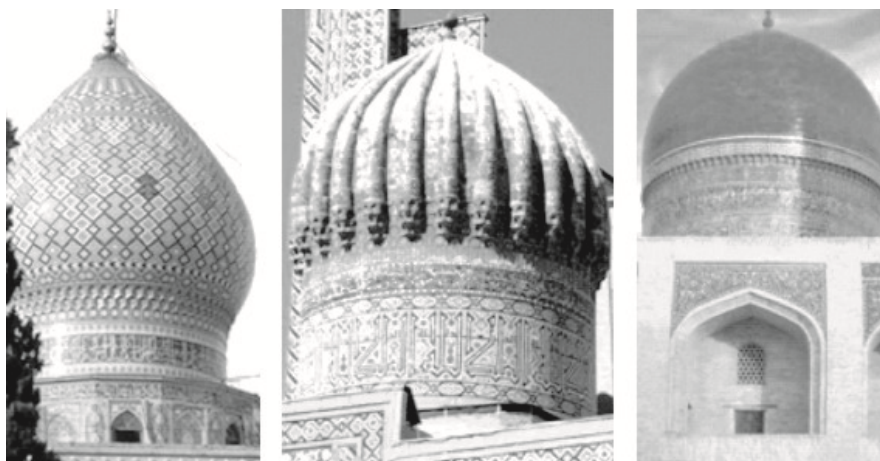


Рис. 20. Иранский купол «Храма всех религий» в Казани



Зеркальная мечеть Мавзолей
Шах-Черах в Иране, XIV в.

Медресе Улугбека на площади
Регистан в Самарканде
(Узбекистан), XV в.

Медресе Мир Араб в Бухаре
(Узбекистан), XVI в.

Рис. 21. Зрительный ряд традиционных форм Иранских куполов на Ближнем Востоке

Конфигурация, структура, крест Мальтийского ордера и общая стилизация под архитектурный образ Барокко подсказывает нам, что перед нами купол, относящийся к католической церкви. Многоярусность куполов – это отличительная черта Католических храмов. В общих чертах Католический купол «Храма всех религий» в Казани имеет схожесть с куполом Собора Святого Петра в Риме и с куполом Церкви Сен-Пьер-ле-Жен в Страсбурге. Купол в Казани имеет два яруса. Однако он отличается отсутствием богатой внешней цветовой отделки, присущей стилю Барокко.

Символом католических куполов является Мальтийский крест. Мальтийский крест – восьмиконечный крест, использовавшийся некогда могущественным рыцарским орденом госпитальеров (иоаннитов – членов католического духовно-рыцарского ордена св. Иоанна, основанного в XII веке в Палестине). Символ происходит от герба итальянского города Амальфи, выходцы из которого были основателями иерусалимского госпиталя, давшего начало ордену.

Католический купол «Храма всех религий» в Казани в целом имеет сходство со своими аналогами зрительного ряда по геометрической форме и структуре. На барабане второго яруса, при помощи мозаики, выложены знаки Мальтийского креста, Католического духовно-рыцарского ордена св. Иоанна, а также Мальтийский крест венчает купол, что подтверждает его отношение к Католицизму (рис. 22-24).

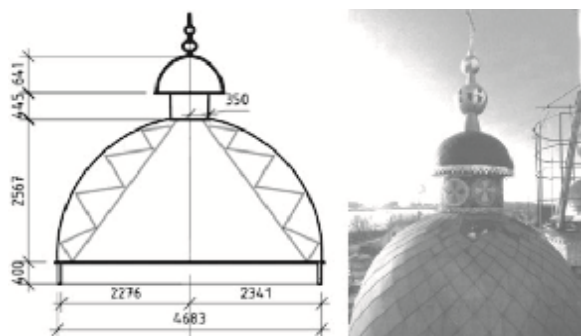


Рис. 22. Католический купол «Храма всех религий» в Казани



Рис. 23. Символ Католических куполов Мальтийский крест



Церковь Сен-Пьер-ле-Жен
в Страсбурге, 1524 г.

Собор Святого Петра в Риме,
1626 г.

Доминиканский собор
во Львове, 1865 г.

Рис. 24. Зрительный ряд традиционных и классических форм Католических куполов

С древнейших времен крыши в форме куполов были широко распространены на Ближнем Востоке. Основной причиной такому подходу служило отсутствие древесины. Относительно легко сложить покрытие из глиняных кирпичей, методом постепенного и порядового сдвига кирпичей вовнутрь, либо укладывая их по кольцевым линиям, с уменьшающимся по высоте диаметром. Существует еще и гипотеза о влиянии кочевых народов с их шатрами. Купола в архитектуре широко использовались еще римлянами и византийцами.

Арабы в начальные века существования халифата строили мечети с плоскими покрытиями, подобными покрытиям мечетей Мекки и Медины. Купола в раннеисламской архитектуре использовались для обозначения расположения. Позднее их стали воздвигать над основным молитвенным залом, и этот принцип соблюдается и до сих пор. Кроме всего купол служит как бы аллегорией небесного свода, воздвигнутого над землей. Первой мечетью с куполом стала знаменитая мечеть Куббат ас-Сахра (Купол Скалы) в Иерусалиме, построенная в 691 году. Купол был возведен из дерева и покрыт медью и свинцом для защиты от непогоды. После нее последовала Мечеть Омейядов в Дамаске, возведенная в 715 году. С тех пор купола стали отличительной особенностью.

Сопоставительный анализ зрительного ряда с куполами «Храма всех религий» позволяет констатировать, что они все выдержаны в стилистике мусульманской архитектуры, по образу и колористическому решению относятся к татарским мечетям (рис. 25-26).

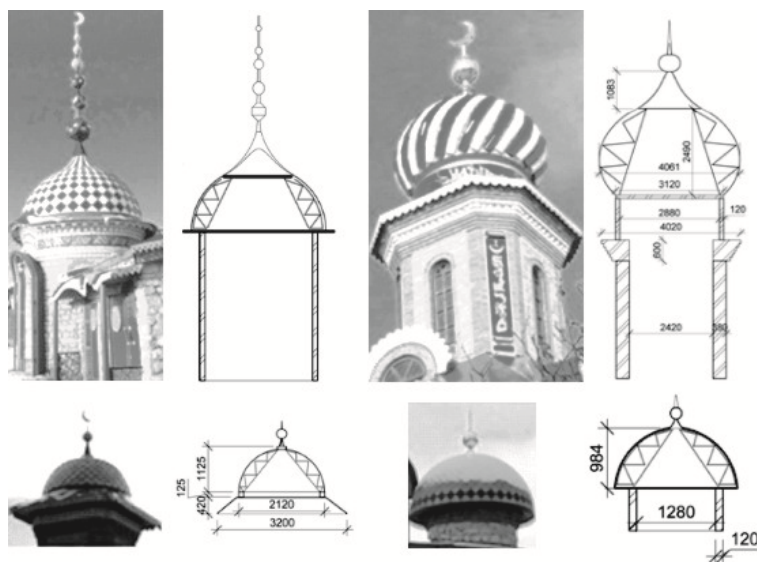


Рис. 25. Мусульманские купола «Храма всех религий» в Казани



Мечеть Рашида
в с. Медяна, 1992 г.

Мечеть Омара
в Иерусалиме, 1193 г.

Купол Голубой мечети в Ереване,
1768 г.

Рис. 26. Зрительный ряд традиционных форм Мусульманских куполов мечетей

Минарет – визуальное обозначение мусульманского храма, башня, с которой совершается публичный призыв православных на молитву. Происхождение минарета восходит к ряду прообразов: сторожевой башни, места, где зажигали огни маяка. Форма его включает в себе древнейшую символику, основанную на представлениях о столпе как вертикальной оси бытия. Расположение минарета определяет тип мечети: с минаретом на крыше с его угловой постановкой; с минаретом над входом с центральной и асимметричной постановкой минарета и т.д.

Кроме того, количество минаретов может варьироваться, при этом должно соблюдаться главное условие: число их должно быть меньше, чем в главной мечети Аль-Харам, являющейся главным мусульманским храмом, во внутреннем дворе которого находится Кааба, то есть до девяти минаретов. Священная ниша, ориентированная на Каабу, перекрытая аркой, небольшим сводом или конкой и вставленная в раму – это Михраб. Михраб стал отличительной чертой мечети с конца VII-начала VIII века. Стрельчатое завершение михраба отмечает важнейшую точку на священной «оси Ислама», благодаря которой. Согласно мусульманской традиции, осуществляется мысленная связь молящегося с земной Каабой, отражающая его духовную связь с Каабой небесной.

Минбар – отличительный признак соборной мечети – кафедра, с которой имам (глава мусульманской общины) произносит пятничную проповедь.

В целом, мусульманские минареты Храма всех религий имеют схожие черты со своими аналогами Минаретов Татарских мечетей. Пропорциональность форм, колористическое решение минаретов также соответствуют мусульманской архитектуре, находящиеся на территории РТ (рис. 27-28).

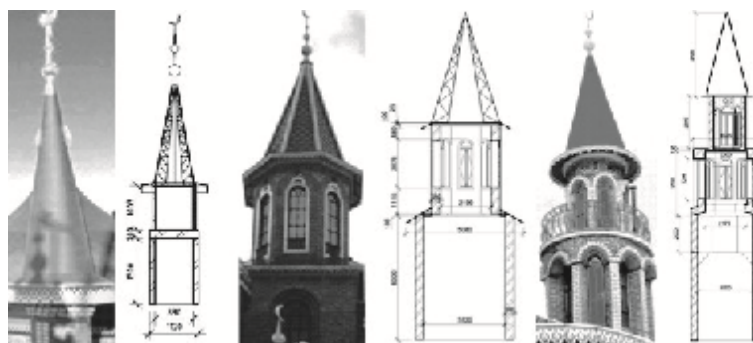


Рис. 27. Мусульманские минареты «Храма всех религий» в Казани



Минарет мечети Марджани
в Казани, 1770 г.

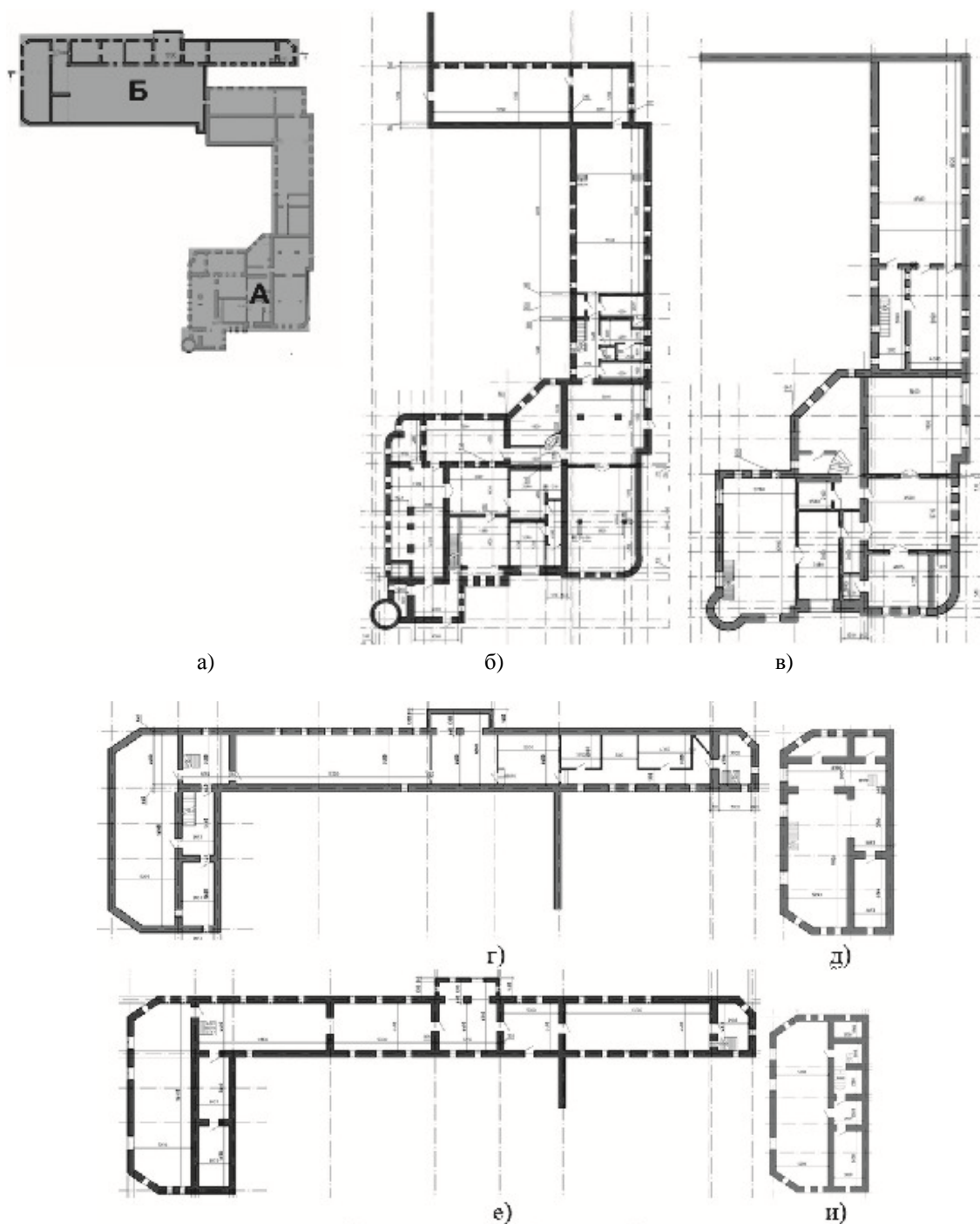
Минарет мечети Иске-Таш
в Казани, 1770 г.

Минарет и купол
Сенной мечети в Казани, 1849 г.

Рис. 28. Зрительный ряд традиционных форм
отечественных Мусульманских минаретов (на примере Татарстана)

По состоянию на начало 2017 года, возводимый по эскизам автора, разноэтажный комплекс храма в плане, постепенно приобрел Г-образную геометрическую форму и в нынешнем его виде, состоит из двух основных блоков (корпусов), включая, возведенные и эксплуатируемые блоки «А», а также незавершенный строительством блок «Б» (Отчет об инженерно-геологических изысканиях и топографо-геодезической съемке сооружений «Храма всех религий», в п. Старое Аракчино, г. Казани, ОИИЗ ГУП ТИГП, 2016, с. 42) (рис. 29).

Не все представители религий соглашались с точкой зрения Ильдара Ханова. Храм называли глумлением, кощунством, осквернением святынь и даже просили остановить его строительство. Но Ильдар Ханов был непоколебим – он говорил, что здесь не будут проводиться религиозные службы. Не смотря ни на что, он занимался творчеством и продолжал писать картины и ваять скульптуры для храма. Мечтал о размещении внутри храма детского дома и художественной школы.



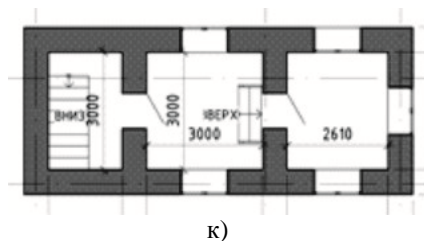


Рис. 4. Схемы планов этажей корпусов (блоков) «А» и «Б» комплекса «Храма всех религий» по состоянию на начало 2017 г.:
а) схема блокировки; б) план 1-этажа корпуса «А»; в) план 2-этажа корпуса «А»;
г)-к) соответственно, планы 1-5-го этажей корпуса «Б»

В его планах было создание в храме реабилитационного центра для наркоманов, театра, школы восточных единоборств и другие культурно-воспитательные проекты. Часть творческих замыслов ему удалось осуществить. К сожалению, Ильдар Ханов не успел завершить строительство храма до конца, так как 9 февраля 2013 года, после тяжелой болезни скончался. На сегодняшний день строительство продолжается усилиями его единомышленников.

По замыслу создателя комплекса – «Храм всех религий» является лишь символом толерантного единения мировых культур, религий и цивилизаций, в связи с этим, Международным культурным центром духовного единения (МКЦДЕ) «Вселенский храм», с участием И. Ханова, выработана концепция основных направлений деятельности [3]. В рамках культурологии эта деятельность охватывает: информационную, культурную, образовательную, оздоровительно-лечебную и профилактическую, воспитательную, эстетику интерьерно-экстерьерной среды храма, военно-патриотического воспитания молодежи, экологическую и охраны окружающей среды. В рамках информационно-воспитательной деятельности храма планируется формирование и создание: телеканала духовного центра; отечественный и зарубежный отделы популяризации идей духовного центра; проведение религиозно-философских конференций и диспутов среди представителей разных религий, ученых, общественных деятелей; создание библиотеки храма и организация сотрудничества с библиотеками зарубежных стран на договорной основе. МКЦДЕ «Вселенский храм» поддержан замысел и идея И. Ханова создания культового комплекса, в котором уважительно и толерантно размещаются все мировые религии, культуры и символы. Поэтому в концептуальный ряд основных мировых религиозных направлений создаваемых в рамках храма включены залы: Вед (Махариши, Раджнеш) – Индия; Дао (Лао-Дзы) – Китай; Дзэн-Буддизма – Япония; Тибета – Тибет; Будды (медитация) – Индонезия, Непал; Египта – Египет; Майя – Мексика; Суфий (Арабская каллиграфия) – Иран; Ветхого Завета (Розенкрейцы) – Израиль, (Массоны) – Франция; Протестантства – США, Германия; Нового Завета (зал Христа): (Православие) – Россия, (Католичество) – Италия; инопланетного Разума – зал науки, солнца (рис. 3). Приняты во внимание идеи И. Ханова о создании музеев, включая: музей Храма, как новой ступени сознания человечества, который позволит обеспечить: систематическую связь с Юнеско, с движением «Бахай» за объединение всех религиозных конфессий, с движением «Экуменистов» – за единство; Национальный музей современного искусства, призванного собирать, сохранять и систематически заниматься выставочной деятельностью художественных произведений, живописи, скульптуры, графики, монументального декоративного искусства, прикладного искусства коренных народов проживающих на территории Татарстана.

Часть замыслов создателя «Вселенского храма» воплотилась в жизнь. Сейчас в Культурном центре духовного единения регулярно проходят благотворительные концерты, организовываются выставки. Ожидается открытие художественной школы для детей, гончарной мастерской и класса по обучению техники создания декоративных витражей.

Заключение

Исследованиями авторов установлено, что комплекс «Храма всех религий», созданный художником, скульптором, заслуженным деятелем искусств РТ Ильдаром Хановым (03.11.1940 г.-09.03.2013 г.) и его единомышленниками, является символом мировых культур, религий и цивилизаций, выраженных через куполы, минареты и религиозные символы с толерантной группировкой их над храмом. Мотивы для реализации своих замыслов скульптор И. Ханов черпал из различных традиционных культовых религиозных объектов и сооружений, откуда и брал ассоциативные решения, воплощенные в купольно-конические системы покрытия и башни. Купола и башни не соотносятся по религиозному признаку. Высотность куполов и башен, в общей композиции комплекса, обусловлена распространенностью каждой религии в мире. По функциональному назначению, комплекс «Храма всех религий» не предназначен для проведения религиозных служб и обрядов, а является историко-культурным и образовательным центром.

Список библиографических ссылок

1. Ханов И. М. Альбом Древо жизни. М. : Идель-Пресс, 2012. 112 с.
2. Герасимова М. Вселенский храм всех религий // Вокруг Света. 2010. С. 24.
3. Арминен О. Человечище // Челны ЛТД, 2011. 8 с.
4. История создания Храма всех религий в Казани // KAZANCAT.RU : ежедн. интернет-изд. 2015. URL: <http://kazancat.ru/istoriya-sozdaniya-hrama-vseh-religij-v-kazani.html> (дата обращения: 16.11.2016).
5. Ildar Khanov, le bâtisseur visionnaire de Kazan // LEFIGARO.FR : ежедн. интернет-изд. 2012. URL: <http://www.lefigaro.fr/international/2012/08/17/01003-20120817ARTFIG00296-ildar-khanov-le-batisseur-visionnaire-de-kazan> (дата обращения: 24.01.2017).
6. Аитов Р. Р., Надырова Х. Г., Халитов Н. Х. Концепция поддержки и развития национального своеобразия в архитектуре Татарстана // Известия КГАСУ. 2012. № 2 (20). С. 49–63.
7. Миссия Ильдара Ханова // RT-ONLINE.RU : ежедн. интернет-изд. 2015. URL: <http://rt-online.ru/p-rubr-kult-36158> (дата обращения: 09.12.2016).
8. Мустакимов В. Р. Проблемы геотехники в современном строительстве и реконструкции зданий и сооружений Казани // Известия КазГАСУ. 2006. № 2 (6). С. 66–68.
9. Strohlic N. Russia's Temple for All Religions // The Daily Beast. 2015. 2015 № 7. P. 24–26.
10. Rudolf Abraham. Temple of all religions // Hidden Europe 34. 2015. № 14. P. 12.

Mustakimov V.R. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Mustakimovvr@yandex.ru

Aminov A.R. – student

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Mustakimov A.V. – architect

SUE «Tatinvestgrazhdanproekt»

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Chekhov st., 28

Tolerance of confessions in the architecture of the «Temple of All Religions» in Kazan

Abstract

Problem statement. The purpose of the work is a comprehensive study of buildings and structures in the Temple of All Religions, the study of its architectural features and the historical and cultural significance of the complex. On the instructions of the RT leadership, authors of the study carried out an assessment of the technical condition of the bearing skeleton of the erected

part of the complex and made an analytical review of all the dome-conical forms of the cover, originally placed by I. Khanov above the roof of the complex.

Results. The results of the study of the object of cultural heritage «The Temple of All Religions» are given. Review and analysis of the visual series of analogues with which I. Khanov formed the image of dome-conical systems, tolerantly placed on the cover of the temple.

Conclusions. I. Khanov creatively processed the most characteristic features of the religious architecture of various religious denominations, turning them into distinctive recognizable symbols and not striving for typological plausibility. After all, he did not create a temple, but embodied in architectural forms the idea of spiritual unification of people of different faiths. This «bouquet» of domes, heads, towers, tents and is designed for perception from the outside, and therefore attracts the eyes of many tourists. The forms of towers, domes and their architectural and decorative design are what the author of the complex saw them. This is the peculiarity and value of this complex.

Keywords: tolerance, confessions, dome-conical.

References

1. Khanov I. M. Album The Tree of Life. M. : Idel-Press, 2012. 112 p.
2. Gerasimova. M. Ecumenical temple of all religions // Around the World. 2010. P. 24.
3. Arminen O. Chelovechische // Chelny LTD. 2011. 8 p.
4. The history of the creation of the Temple of all religions in Kazan // KAZANCAT.RU: daily. internet-edit. 2015. URL: <http://kazancat.ru/istoriya-sozdaniya-hrama-vseh-religij-v-kazani.html> (reference date: 11.16.2016).
5. Ildar Khanov, le bâtisseur visionnaire de Kazan. // LEFIGARO.FR: daily. internet-edit 2012. URL: <http://www.lefigaro.fr/international/2012/08/17/01003-20120817ARTFIG00296-ildar-khanov-le-batisseur-visionnaire-de-kazan> (reference date: 24.01.2017).
6. Aitov R. R., Nadyrova H. G., Khalitov N. H. The concept of support and development of national identity in the architecture of Tatarstan // Izvestia KSUAE 2012. № 2 (20). P. 49–63.
7. The mission of Ildar Khanov // RT-ONLINE.RU: daily. internet-edit. 2015. URL: <http://rt-online.ru/p-rubr-kult-36158> (reference date: 09.12.2016).
8. Mustakimov V. R. Problems of geotechnics in the modern construction and reconstruction of buildings and structures in Kazan // Izvestiya KazSUAE. 2006. № 2 (6). P. 66–68.
9. Strohlic N. Russia's Temple for All Religions // The Daily Beast. 2015. № 7. P. 24–26.
10. Rudolf Abraham. Temple of all religions // Hidden Europe 34. 2015. № 14. P. 12.

УДК 726:72.007

Тукмакова М.И. – аспирант

E-mail: miliushka@list.ru

Фахрутдинова И.А. – кандидат архитектуры, доцент

E-mail: fahinessa@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Творческие индустрии как метод ревитализации льнопрядильной фабрики Алафузова г. Казани

Аннотация

Постановка задачи. Статья посвящена анализу творческих индустрий как метода ревитализации промышленных территорий и создания инновационной среды. Объектом исследования является льнопрядильная фабрика Алафузова, на основе которой развивается первый городской лофт. Цель статьи – рассмотреть данное явление в контексте современного развития архитектуры Казани. Авторы поставили перед собой следующие задачи:

- Дать определение понятию «творческие индустрии» и обозначить их роль в формировании современного города.
- Рассмотреть историю фабрики Алафузова, чтобы понять значимость объекта для города.
- Предложить подходы как эффективной ревитализации фабрики Алафузова.

Результаты. В ходе исследования выявлено, что на сегодняшний день «творческие индустрии» проявили себя как действенный инструмент в ревитализации промышленных территорий по всему миру и в некоторых городах России. В ходе развития «творческих индустрий» на промышленных предприятиях, остановившие свое производство из-за ряда причин, наблюдается улучшения экономической ситуации и подъем уровня жизни в районе, в котором находится объект. В исследовании рассмотрены отечественные примеры эффективной ревитализации бывших промышленных объектов. Также проанализировано развитие памятника промышленной архитектуры фабрики Алафузова. Предложены рекомендации по дальнейшему развитию креативного кластера на территории данной фабрики.

Выводы. Полученные данные исследования дают полноценную картину об использовании творческих индустрий как одного из действенных методов для ревитализации промышленных территорий, которые являются перспективными для развития города. Творческие индустрии, как инструмент, возможно применить для работы над различными объектами промышленной эпохи с адаптацией для конкретной территории. Развитие подобных объектов в городе может дать положительный результат для развития экономики города, повышения туристической привлекательности и развития городской культуры в целом.

Ключевые слова: творческие индустрии, креативный город, творческие кластеры, льнопрядильная фабрика Алафузова, креативная экономика.

На сегодняшний день по всему миру существует проблема сохранения и использования промышленных территорий. Переход экономики развитых стран с индустриальной к постиндустриальной остановило производство большинства промышленных предприятий. Огромные площади промышленных зон, исторически располагавшихся на окраинах и перешедшие в центральную часть города, как правило, пустуют. Это резервные территории, на которых сохранились объекты промышленной архитектуры, представляющие культурную ценность. Тема ревитализации промышленных территорий сегодня особенно актуальна, так как город не должен терять ценные городские пространства и тем более памятники исторического наследия. Несмотря на то, что в мире накопился достаточный опыт по реконструкции и реновации подобных объектов, в России этот процесс достаточно нов, требует осмысления данной тенденции развития городского пространства, а также разработки стратегии ревитализации промышленных объектов [1].

Процессы перефункционалирования промышленных территорий в Европе начались с экономических кризисов 80-х годов, когда промышленность стала убыточной. Производство европейских государств стало переноситься в страны с дешевой рабочей силой и большинство промышленных предприятий остановило свою работу. Промышленные районы пришли в упадок, так как градообразующие заводы были в то время основным источником экономической стабильности стран. Все это привело к падению уровня жизни и экономической нестабильности в европейских городах. Резкое изменение ситуации потребовало столь же быстрого решения градостроительных проблем. Во всем мире запускается процесс реноваций промышленных зон и происходит поиск новых эффективных подходов к «оживлению» регрессивных территорий.

«Спасательный круг» увидели в творчестве. Великобритания – первая страна, где забота о культуре была сделана приоритетом государственной политики. Уже с конца 1960-х годов британцы начали разрабатывать проекты, которые в 1990-х легли в основу технологий выявления, стимулирования и поддержки творческих и культурных ресурсов. Были созданы программы развития творческих индустрий, обеспечившие мощный приток капитала, иную структуру занятости и сформировавшие новые источники доходов. На заброшенных территориях и в оставленных зданиях стали формироваться творческие кластеры – содружества независимых творческих компаний, связанных общностью места и отношениями взаимного сотрудничества и конкуренции. Этот факт повышения стабильности городской среды состоит именно в переходе к «экономике творчества» или по-другому к креативной экономике, в котором основным фактором производства является творческая активность населения, способная создавать принципиально новые продукты. Практика ревитализации промышленных территории и повышение экономического благосостояния с помощью развития «творческих индустрий» в Великобритании показала свою эффективность, после этого творческие индустрии начали проявляться в других городах Европы.

Творческая (креативная) индустрия – это термин, используемый для обозначения такой предпринимательской деятельности, при которой экономическая ценность продукции неразрывно связана с ее существованием в качестве элемента культуры. Теперь бывшие заводы и фабрики стали производить и продавать на мировых рынках не сталь и текстиль, а «творческий» или «интеллектуальный» продукт: компьютерные и мультимедиа технологии, дизайн [2].

С процессом развития творческих индустрий в Европе начинается формирование новой парадигмы культуры – отношение к культуре и подходы к ее изучению меняются. Если раньше культурные блага не имели монетарной оценки, а только нематериальную ценность, то культура конца XX века, а вместе с ней и «творческие индустрии» вносят определенный вклад в развитие экономики, то есть меняются процессы монетизации «культурной деятельности». Изучению этих проблем посвятили свои труды многие ученые: А. Кламмер, Б. Фрей, Д. Тросби, Е. Зеленцова.

Одним из самых ярких исследователей креативной индустрии стал британский урбанист Чарльз Лэндри. В книге «Креативный город» он оптимистично рассуждает о том, что «творческий потенциал» живущих в городах людей может превратить их творческие лаборатории в эффективный механизм решения сложных социальных проблем. Так и получилось, что некоторые города сумели приспособиться к историческим переменам, а некоторым даже удалось извлечь из этих перемен выгоду [3].

В России тема «креативных пространств» и творческих индустрий относительно новая, но, тем не менее, нашла свое применение. На сегодняшний день можно констатировать факт успешного существования творческих индустрий в Москве и Санкт-Петербурге, которые показали наглядный пример использования «творческих индустрий» как метода ревитализации промышленных территорий, вот некоторые из них:

– **Дизайн-завод «Флакон»** – это первый в Москве креативный кластер, направленный на развитие творческих индустрий, проектов в области искусства, актуальных форм творчества, образования и гражданских активностей. «Флакон» возник на территории бывшего хрустально-стекольного завода и стал пионером в ревитализации промышленной зоны за пределами исторической застройки Москвы. Завершив свою славную историю, завод по производству стекла был превращен в «дизайн-завод», а

основным производством на нем стали креативные индустрии. «Флакон» стал мощной платформой для развития молодых проектов, самовыражения творческих личностей и реализации социо-культурных инициатив.

- **Винзавод.** Центр современного искусства «Винзавод», основанный в 2007 году в Москве Софьей и Романом Троценко, является первым и самым большим частным центром современного искусства в России. Объединив все направления современной культуры в одном пространстве, открытом для широкой аудитории, Винзавод поддерживает актуальное российское искусство и создает комфортную среду для его развития. На территории «Винзавода» располагаются ведущие московские галереи современного искусства, мастерские художников, дизайнеров и фотографов, кафе, творческие шоу-румы, детские студии, книжный магазин и многое другое.

- **Лофт-проект «Этажи».** Культурный центр лофт-проект «Этажи» – пионер лофт-дизайна и одно из крупнейших выставочных пространств в Санкт-Петербурге. С 2007 года центр занимает площадь бывшего хлебозавода. На сегодняшний день на территории в 3000 квадратных метров находятся более 150 креативных проектов – магазинчики, выставки, кафе и галереи, лофт-проект «Этажи» – многофункциональное арт-пространство на 5-и этажах, а над 5-м этажом – пространство «Крыша». Это большая, оборудованная, безопасная обзорная площадка площадью более 1200 м². Отсюда видны многие достопримечательности и открывается отличный вид на Лиговский проспект. Во многом сохраненный промышленный интерьер, характерный для лофтовой архитектуры Нью-Йорка, Берлина, Амстердама, в котором современная дизайнерская и антикварная мебель создают неповторимую атмосферу – проект архитектурного бюро братьев Егора и Савелия Архипенко.

Развитие творческих индустрий нашло отклик и в регионах России. Сегодня креативные пространства появляются в Перми, в Екатеринбурге, Самаре, Казани и во многих других городах.



Рис. 1. Главный фасад здания Льнопрядильной фабрики Алафузова по улице Гладилова

Если говорить о Казани, то заметное движение в развитии креативной индустрии города начало происходить пять лет назад с появления первых коворкингов «Клевер» и «Тюбетейка» и одних из первых российских сетевых антикафе «Циферблат». В 2013 году в Казани открывается Центр современной культуры «Смена», претендующий на полноценный творческий кластер, а в 2015 году на базе бывшего швейного завода формируется резиденция креативных индустрий «Штаб» [4]. В ряд со «Сменой» и «Штабом» в 2015 году встает первый казанский лофт – «Фабрика Алафузова» (рис. 1). Он организовывается на базе бывшей льнопрядильной фабрики Алафузова – памятнике промышленной архитектуры, представляющий собой обширный комплекс производственных зданий. Месторасположение фабрики, ее масштаб и архитектурные характеристики позволяют рассматривать новый культурный объект как один из самых значимых и перспективных для развития городской структуры, а также как самый

масштабный «креативный кластер» города. Однако, несмотря на свой потенциал, на сегодняшний день «креативный кластер» фабрики Алафузова развивается без достаточной активности. Чтобы понять, что же мешает эффективному развитию творческих индустрий на базе Лынопрядильной фабрики и что можно предложить в данном направлении, необходимо провести анализ архитектурно-градостроительного и социально-культурного анализа создавшейся ситуации [5].

Историческая справка

Лынопрядильная фабрика Алафузова была основана в середине XIX века. Территорию лынопрядильной фабрики Алафузова по праву можно считать уникальной для города, в ходе архивных и натуральных исследований было выявлено 15 объектов, построенных в XIX веке [6]. Среди них два объекта культурного наследия федерального значения – Дом Котелова 1833 года и регионального значения – ткацкий корпус 1865 года. Также на территории находятся следы шуховской башни, демонтированной в 90-е годы XX века (рис. 2). В эти же годы фабрика прекратила свою работу – помещения были распроданы и сейчас используются под складские помещения и мелкие предприятия. Территория и здания, несущие историческую и архитектурно-художественную ценность, находятся в деградированном состоянии и продолжают медленно разрушаться.



Рис. 2. Горбатый мост. Адмиралтейская слобода. Вид на фабрику Алафузова. 1933 г. [10]

Как указывалось выше, в 2015 году в части зданий бывшей фабрики предпринимателем Андреем Питуловым был организован первый лофт Казани – «Фабрика Алафузова». Основной из проблем, с которой столкнулся предприниматель, это отсутствие инвесторов и трудности с арендаторами, не заинтересованными вкладывать средства на поддержание зданий и территории в надлежащем виде. В интервью «БИЗНЕС Online» основатель проекта рассказывает, какой творческий кластер можно создать, захватив территорию лынокомбината, знакомит с планами разработки здесь туристических маршрутов и говорит о том, что на сегодняшний день креативным индустриям необходима поддержка города, как в верхах власти, так и творческой интеллигенции [7].

Архитектурно-градостроительный анализ показал, что на сегодняшний день территория Алафузовской фабрики, а также прилегающие к ней территории нуждаются в полной реконструкции и благоустройстве, так как имеет ряд проблем, связанных с санитарно-гигиеническими и функционально-планировочными условиями:

- **Деградированное состояние городского района.** Географически фабрика Алафузова находится на исторической территории Адмиралтейской слободы, промышленной части города, которая с начала 90-х гг. XX века неуклонно деградирует. Несмотря на то, что на Адмиралтейская слобода славна своей историей и памятниками архитектуры, близка к центру города и обладает живописным рельефом, ее материальное

состояние оставляет желать лучшего – не развитая транспортная инфраструктура, низкая обслуживаемость населения, большая доля ветхого жилья и производственных зданий, плохое благоустройство и озеленение – все это не способствует привлечению горожан к территории и историко-культурному наследию фабрики Алафузова.

- **Территория не функционирует в комплексе.** Льнопрядильная фабрика Алафузова два столетия функционировала как предприятие легкой промышленности, не значительно меняя специфику своего назначения. На сегодняшний день данный комплекс изменил свою функцию – многие помещения не используются вообще, другие используются как складские помещения, в некоторых объектах еще сохранились административные функции.

- **Территория не имеет свободного доступа.** В связи с функциональным назначением льнокомбината территория всегда была закрыта от сторонних наблюдателей. Периметральная застройка позволяет ограничить доступ во внутреннее пространство. Со стороны старого русла комплекс огораживает монолитный трехметровый забор. Вход на территорию осуществляется через проходной пункт с охранником.

- **Территория имеет множество собственников.** Одной из основных проблем территории состоит в том, что у него множество собственников. Это мешает решению вопросов о комплексной реконструкции данной территории. В публичной кадастровой карте в собственности числится лишь 2/3 часть комплекса, 1/3 часть не находится в собственности.

- **Территория богата объектами промышленной архитектуры.** Одним из важнейших вопросов льнокомбината является сохранение объектов промышленной архитектуры. На территории льнокомбината сохранился целый комплекс таких объектов. Необходимо определение территории ОКН для охраны всех зданий с признаками объекта культурного наследия. Есть угроза сноса ценных объектов, так как не все из них несут инвестиционную привлекательность.

- **Архитектурно-социальная программа первого лофта.** На сегодняшний день идейным вдохновителем и основателем первого лофта в Казани Андреем Питуловым проведена огромная работа по запуску ревитализации данной территории. Прежде всего, это ремонтные работы, благоустройство среды и проведение таких мероприятий как:

- разработан проект по реконструкции объекта с включением современных функций, архитектурно-реставрационной мастерской «Старая Казань» (рис. 3);

- проводятся субботники и мелкие ремонтные работы;

- организуются выставки творческой молодежи и известных в Татарстане художников, деятелей искусства;

- в рамках развития объекта были проведены воркшопы по теме ревитализации данной территории с приглашенными архитекторами и спикерами.

- был запущен проект «Блошинный двор» - на этом мероприятии можно было найти атмосферные элементы интерьера и быта прошлого столетия и изделия ручной работы различных мастеров г. Казани;

- организован молодежный театр;

- проводятся различные молодежные вечеринки и концерты;

- проводятся экскурсии по территории с выходом на крышу фабрики и многое другое.

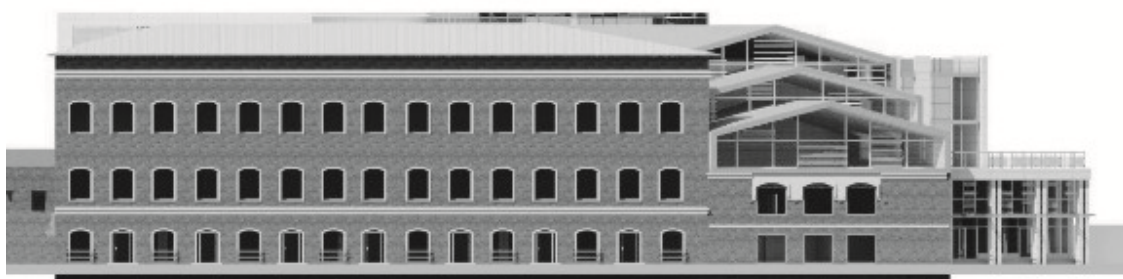


Рис. 3. Проект реконструкции корпусов льнопрядильной фабрики Алафузова, проект выполнен архитектурно-реставрационной мастерской «Старая Казань»

Все эти мероприятия раскрывают место по-новому и уже вдохнули в него жизнь. Льнокомбинат сегодня знает практически каждый, но для того, чтобы объект функционировал в полной мере необходимо множество ресурсов, как финансовых, так и человеческих. Необходимо льнокомбинат сделать приоритетом администрации района и города и самих горожан, в первую очередь тех, кто живет в этом районе.

Однако для эффективной ревитализации льнопрядильной фабрики Алафузова нужно провести более глобальные мероприятия, которые были бы направлены не только на саму фабрику, но и комплексно на весь квартал Адмиралтейской слободы с целью повышения престижности территории и обеспечении ее устойчивого развития. Авторы предлагают внести в программу ревитализации следующие **архитектурно-планировочные мероприятия:**

- методами реставрации и реконструкции сохранить архитектурно-художественное своеобразие льнопрядильной фабрики Алафузова и уникальную историческую среду;
- через включение новых функций эффективно использовать историческую территорию и застройку, с полноценным включением в современную жизнь города;
- на уровне формирования архитектурной среды выстроить грамотную композиционную связь старого и нового;
- запроектировать объектами для обеспечения необходимого количества социально-культурного и коммунально-бытового обслуживания среды;
- пересмотреть зонирование и функциональное использование фабричных зданий и элементов планировочной структуры территории проектирования;
- расширить зону для развития творческих индустрий, интегрировав ее и в другие части Адмиралтейской слободы;
- провести благоустройство территории общественных пространств.

Кроме архитектурно-планировочных мероприятий необходимо усилить и **социальную программу творческого кластера**, а именно:

- необходимо всесторонняя активность, помощь со стороны государственных программ поддержки подобных проектов, городских властей и горожан;
- проведение более широкого спектра мероприятий культурного характера;
- включение в программу городских экскурсий объектов, находящиеся на территории льнопрядильной фабрики Алафузова;
- проведение архитектурных квест-игр для популяризации данной территории и создания бренда [8];
- пропагандирование развития творческого кластера через медио-информационные источники и работу с населением.

Таким образом, полная реконструкция и благоустройство квартала, а также введение новых функций, будет способствовать привлечению различных социальных слоев населения и повышению качества среды района. Изменение статуса территории через брендинг и популяризацию повлечет за собой потоки отечественных и зарубежных туристов, что даст новый доход городу и обеспечит рабочими местами жителей района. Все это возможно под эгидой развития креативных пространств на территории фабрики [9].

Заключение

Творческие индустрии как метод ревитализации промышленных территорий показал свою эффективность уже во многих странах мира и в крупных городах России. Возникновение на основе льнопрядильной фабрики Алафузова креативных кластеров позволит подключить все ресурсы города на его ревитализацию. Льнопрядильная фабрика Алафузова интересна для архитекторов, художников, дизайнеров и является объектом необычным для повседневной рутины деятельности горожанина. При этом проект может заинтересовать абсолютно каждого участника процесса – предпринимателя, как возможность получить новую статью дохода, власть – как повышение эффективности управления городом и наращивания своего авторитета, творческую интеллигенцию – как место общения и творческой реализации, горожанина-обывателя, как место работы или досуга. Главное определить приоритетное направления данной территории.

Список библиографических ссылок

1. Развитие творческих индустрий – путь к повышению качества жизни // URL: <https://oprfr.ru/ru/press/news/2016/newsitem/33534?PHPSESSID=9pnc5cr7dq2hs6qqqs18lrsarn3> (дата обращения: 24.02.2017).
2. Ричард Флорида. Креативный класс. Люди, которые меняют будущее. : ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2016. 430 с.
3. Лэндри Ч. Креативный город. М. : Издательский дом «Классика-XXI», 2011. 399 с.
4. Городские предприниматели: Ярослав Муравьев, соучредитель резиденции «Штаб» // entermedia. 2016. URL: <http://p-w-w.org/index.php?topic=14139.0> (дата обращения: 25.03.2017).
5. Тукмакова М. И. Проблема ревитализации исторических промышленных территорий на примере льнопрядильной фабрики Алафузова в г. Казани : сб. тезисов III Международной научно-практической конференции «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация». 2014. С. 44.
6. Козлова И. В. Льнопрядильная фабрика Алафузовых. Архитектурно-градостроительное развитие промышленного комплекса XIX века // Известия КГАСУ, 2012. № 4 (22). С. 46–50.
7. Андрей Питулов: «Все, что было у меня, моей семьи, моих друзей, я вложил в лофт» // «БИЗНЕС Online». 2016. URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/317743> (дата обращения: 12.02.2017).
8. Тукмакова М. И., Фахрутдинова И. А. Архитектурная квест-игра как инструмент развития объектов исторического наследия (на примере льнопрядильной фабрики Алафузова): 67 Всероссийская научная конференция преподавателей, аспирантов, соискателей и студентов по проблемам архитектуры и строительства 7-21 апреля 2015 г. С. 132–138.
9. Скотт Маккуайр. Медийный город: медиа, архитектура и городское пространство. М. : Strelka Press. 2014. 392 с.
10. Исторические фотографии // URL: <http://transphoto.ru/photo/876771/> (дата обращения: 24.04.2017).

Tukmakova M.I. – post-graduate student

E-mail: miliushka@list.ru

Fakhrutdinova I.A. – candidate of architecture, associate professor

E-mail: fahinessa@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Creative industries as the method for revitalizing
the Alafuzov's flax-spinning factory of Kazan****Abstract**

Problem statement. The article is devoted to the analysis of creative industries as the method of revitalizing industrial territories and creating an innovative environment. The object of research is Alafuzov's flax-spinning factory, on the basis of which the first city loft develops. The purpose of the article is to consider this phenomenon in the context of modern Kazan architecture development. The authors set themselves the following tasks:

- Define the concept of «creative industries» and identify their role in the formation of a modern city.

- Consider the history of the Alafuzov's factory in order to understand the significance of the facility for the city.

- Propose approaches to the effective revitalization of the Alafuzov's factory.

Results. The research revealed that today «creative industries» have proved to be an effective tool in revitalizing industrial areas around the world and in some Russian cities. During

the development of «creative industries» in industrial enterprises, which stopped their production due to a number of reasons, there is an improvement in the economic situation and raising the standard of living in the area in which the facility is located. The study examined domestic examples of effective revitalization of former industrial facilities. Also, the development of the industrial architecture monument of the Alafuzov's factory was analyzed. Recommendations are offered on the further development of the creative cluster in the territory of this factory.

Conclusions. The findings of the research give a full picture of the use of creative industries as one of the effective methods for revitalizing industrial territories that are promising for the development of the city. Creative industries as a tool can be applied to work on various objects of the industrial era with adaptation for a specific territory. The development of such facilities in the city can give a positive result for the development of the city's economy, enhance the tourist appeal and the development of urban culture in general.

Keywords: creative industries, creative city, creative clusters, Alafuzov's flax-spinning factory, creative economy.

References

1. Development of creative industries – a way to improve the quality of life // URL: <https://opr.f.ru/ru/press/news/2016/newsitem/33534?PHPSESSID=9pnc5cr7dq2hs6qqsl8lrsarn3> (reference date: 24.02.2017).
2. Richard Florida. Creative class. People who are changing the future: OOO Mann, Ivanov and Ferber, 2016. 430 p.
3. Landry C. Creative City. M. : Publishing house «Classics-XXI», 2011. 399 p.
4. Urban entrepreneurs: Yaroslav Muraviev, co-founder of the residence «Headquarters» // entermedia. 2016. URL: <http://p-w-w.org/index.php?topic=14139.0> (reference date: 25.03.2017).
5. Tukmakova M. I. The problem of revitalization of historical industrial territories by the example of the Alafuzov's flax-spinning factory in Kazan : dig. of theses of the III International Scientific and Practical Conference «Cultural heritage in the 21st century: preservation, use, popularization». 25-28 November 2014. P. 44.
6. Kozlova I. V. Alafuzov's flax-spinning factory. Architectural and town-planning development of the industrial complex of the XIX century // *Izvestija KGASU*, 2012. № 4 (22). P. 46–50.
7. Andrei Pitulov: «Everything I had, my family, my friends, I invested in a loft» // «BUSINESS Online». 2016. URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/317743> (reference date: 12.02.2017).
8. Tukmakova M. I., Fakhruddinova I. A. An architectural quest game as a tool for the development of historical heritage objects (on the example of the Alafuzov's flax-spinning factory): 67 All-Russian Scientific Conference of Teachers, Postgraduates, Competitors and Students on Architecture and Construction Problems April 7-21, 2015. P. 132–138.
9. Scott McQuire. Media City: Media, Architecture and Urban Space. M. : Strelka Press. 2014. 392 p.
10. Historical photos // URL: <http://transphoto.ru/photo/876771/> (reference date: 24.04.2017).



УДК 721.012

Бурова Т.Ю. – кандидат архитектуры, доцент

E-mail: tadrik@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Офис: этапы становления в формировании планировочной структуры пространства

Аннотация

Постановка задачи. На примере сравнительной характеристики пространств офисов разных временных этапов определить тенденции в организации данного вида пространства.

Результаты. Сопоставление фактов и объектов позволяют выявить общие приемы и признаки формирования интерьерного пространства офисов. Показан эволюционный характер становления пространства с связи с историческими событиями, научно-техническим прогрессом и изменением вкусовых и стилистических предпочтений в оформлении интерьера.

Выводы. Значимость полученных результатов состоит в определении характеристик процесса становления планировочной структуры офиса. Особое значение имеет краткий обзор новаторских планировочных решений офисов каждого этапа, впоследствии получивших мировую известность и ставших прототипами офисных помещений по всему миру. Выявлено, что пространственные особенности определяются потребностями работника и стремлением руководства. Вследствие чего офисы из системы отдельных кабинетов эволюционировали в открытые пространства, затем сформировались кубиклы, и впоследствии – настоящие «игровые» комнаты. Появилось такое понятие, как гибкий офис.

Ключевые слова: офис, пространство офиса, рабочее место, кубикл, коворкинг, гибкий офис.

Сегодня офисы являются неотъемлемой частью практически любой сферы деятельности. Офис (англ. *office*) или контора (нем. *kontor*) – пространство, которое организует наш рабочий процесс, составляющий, в свою очередь, около 30 % времени. Экспериментально и научно доказано, что наше пространственное окружение напрямую влияет на производительность процесса. С самого начала возникновения офисов предпринимались попытки увеличить продуктивность работы посредством рационально-грамотной организации самого пространства.

Всю историю формирования и становления пространственной организации офисов можно условно разделить на два этапа [1]:

- I этап – с XVIII века по 1900 год;
- II этап – с начала XX века до настоящего времени.



Рис. 1. East India House в Лондоне

Развитие планировочной структуры офисов стремительно началось с появлением первого офисного здания в истории – East India House в Лондоне (рис. 1). Для оптимальной жизнедеятельности колоний в связи с большим объемом бумажной работы потребовались тысячи клерков, что и спровоцировало эволюцию в данной сфере, – всем следовало обеспечить должные условия труда и, кроме этого, организовать их в едином пространстве. Примерно в это же время параллельно происходят два ключевых события, оказавшие косвенное влияние на становление офисной структуры. Пожар 1871 года в Чикаго и переход сталелитейных заводов Америки на стандартную стальную балку, с последующим снижением цены на нее. Это влияет на рождение Чикагской архитектурной школы, определившей характер объектов на следующие пятьдесят лет: так появляются первые небоскребы (рис. 2).

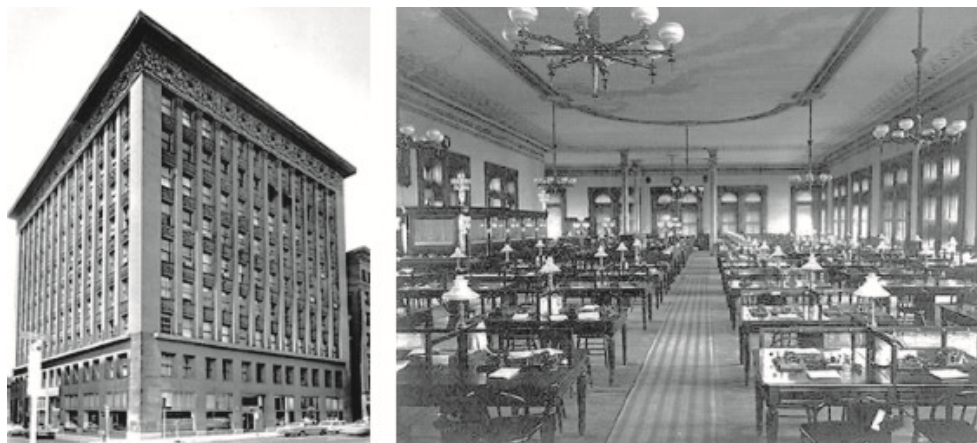


Рис. 2. Первый небоскреб. Внешний и внутренний облик. Чикаго, 1885 г.

Офисные пространства 1880-1930-ых годов выглядели как просторные залы, со свободной расстановкой мебели, поскольку солнечный свет в то время был определяющим параметром для формирования помещения. Это влияло на глубину, высоту, пропорции и планировку. Рентабельность и жизнеспособность офиса напрямую зависела от больших окон и высоких потолков, позволяющих солнечному свету проникать как можно глубже. При этом глубина помещения не могла превышать 9 метров, что является пределом проникновения солнечного света. Потолки проектировались 3-4 метра высотой, и окна были максимально большой площади, не менее 2х3 метра. Если же офис нужно было разделить – для этого использовались только прозрачные стеклянные перегородки [2]. Все это позволяло, как обеспечить вентиляцию, так и рассеять шум (рис. 3).



Рис. 3. Отдел продаж компании Swift & Co в Чикаго, штат Иллинойс, 1910 г.

Становление офисной планировки происходит в течение всего XX века. Так, в середине XX века в США появилась планировка, где все были «на виду». В центре находились секретари, которых окружали многочисленные рабочие места [3, 4]. Следующим планировочным решением было предложение известного рационализатора труда Фредерика Тейлора. Он спланировал офисное пространство так, что все сотрудники свободно общались, находясь за длинными рядами столов, а руководство занимало отдельные кабинеты по периметру этажа (рис. 4).

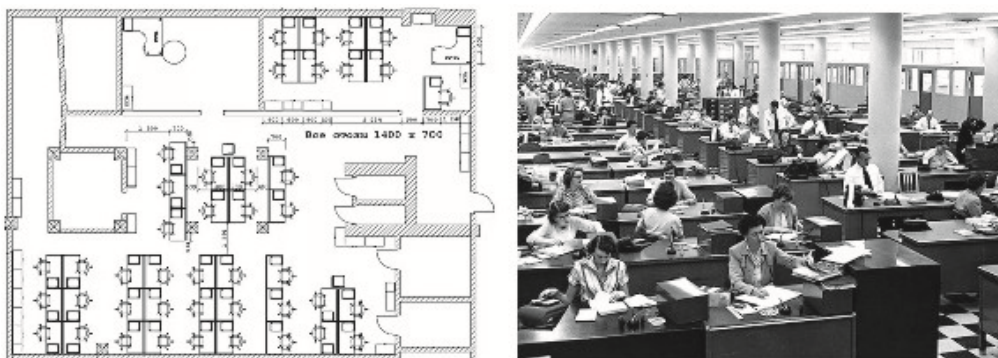


Рис. 4. Тип организации офиса Фредерика Тейлора

Со временем процесс офисной работы потребовал отхода от подобной «фабричной» планировки, поскольку каждому клерку требовалось организовать специализированное индивидуальное рабочее место. Кроме этого необходимо стало усилить взаимосвязь и облегчить общение между сотрудниками. В результате, должна была появиться такая планировка, которая обеспечивала каждому сотруднику личное рабочее место, оставляя возможность для нахождения в общем пространстве.

Следующим этапом эволюции планировочной структуры стал – немецкий Bürolandschaft (Офисный пейзаж) [2, 4, 5]. Данный «план» предполагал открытое пространство, где офисные столы расположены группами, в «природном порядке», с элементами озеленения и удобными проходами, максимально комфортно имитируя природную среду (рис. 5).

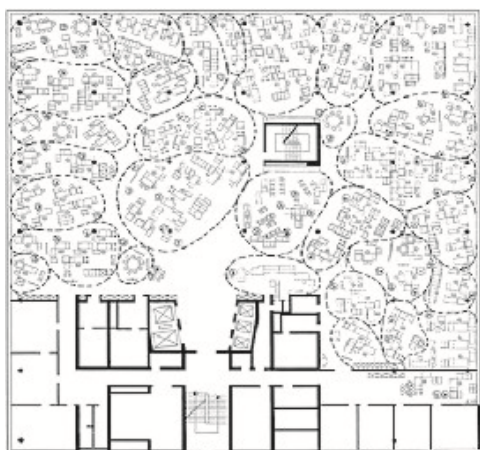


Рис. 5. Планировка и внешний вид офисов Bürolandschaft



Рис. 6. Планировка и внешний вид Action Office (кубиклы)

Основной идеей такой планировки является отсутствие иерархии в организации пространства, объединение руководителей и подчиненных за одними столами. Данный вид офисов приобрел популярность. Планировка такого типа положительно влияла на сотрудничество и общение сотрудников разного уровня. Кроме того, такой тип офисов был не затратным и его легко можно было реструктуризировать. Такие офисы и на сегодняшний

момент достаточно востребованы. Несмотря на то, что в качестве основного минуса следует отметить невозможность сосредоточиться, многие работники жалуются на шум и постоянные разговоры. Кроме того, в таких офисах легко распространяются болезни.

В процессе эксплуатации такого планировочного решения сложилось мнение, что открытые пространства лишают людей личной свободы. Имеет место объективное отсутствие индивидуального места для творчества и развития. В 1963 году инженер и архитектор Роберт Пропст представил систему Action Office, ставшую известной как кубиклы [6]. Такой планировочный прием предполагает наличие у каждого офисного работника небольшой зоны, отгороженной друг от друга пластиковыми перегородками. (рис. 6). При это происходит частичная пространственная изоляция, зал остаётся общим. Кубиклы стали стандартом офисной жизни, олицетворяя следующий этап планировочной эволюции. Первоначально такой тип иллюстрировал символ свободы и самоорганизации; в последствии к концу века кубиклы стали знаковым символом несвободы. Изначально предполагалось, что кубиклы можно будет модифицировать, изменять форму и расположение, но со временем такой подход породил «фермы кубиклов» с отсутствием вариантов трансформации. Такие офисы были популярны до 1990-х годов, затем их вновь сменили открытые офисы.

Сегодня крупные компании постепенно переходят к другому типу планировки вследствие влияния новых технологий и актуальных задач, которые часто требуют нестандартного решения от офисного работника. В результате эволюции компьютерной техники и изменения ее размеров в сторону уменьшения, стало понятно, что громоздкий рабочий стол в офисе не является обязательным. Каждый работник может заниматься делами фактически из любого удобного ему места. Это стало объективной причиной для появления гибкого офиса. Например, офис компании Lego в Дании похож на огромную игровую комнату. Здесь есть множество игрушек, столы украшены деревьями бонсай, а в офисе есть разные по организации пространства, где любой может работать. Кто ищет уединения, может уйти в отдельные кабинки, а другие работники, наоборот, могут воспользоваться общими комнатами.

Этап сегодняшнего развития облачных технологий делает возможной удаленную работу, не привязанную к рабочему месту в офисе. Достаточно большое количество сотрудников компаний работает из дома или из удобного для них места. Руководству компаний такой подход позволяет экономить на аренде. Такой прием организации труда в 2005 году получил новый вид планировочного оформления. Молодой программист Бред Ньюберг, арендовав большое помещение в офисном здании, предложил совместно использовать его для работы специалистам, ведущим работу по типу фриланса. Новую схему организации рабочих мест он назвал коворкингом [7, 8, 9] (рис. 7).

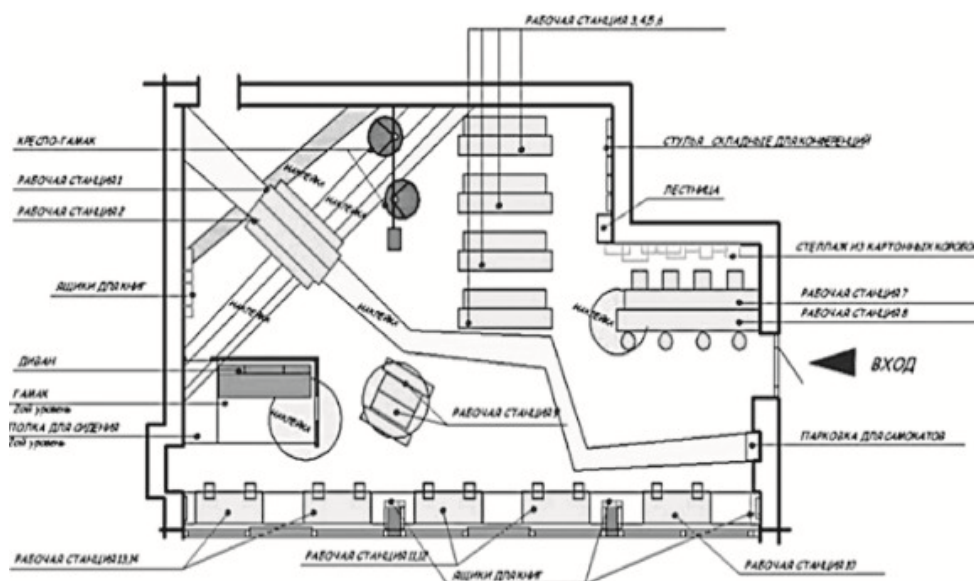


Рис. 7. Схема зонирования коворкинга

Коворкинг (от англ. Co-working – «совместная работа») в широком смысле – подход к организации труда людей с разной занятостью в общем пространстве. Планировочная организация в данном случае – это абсолютно свободная, но рациональная структура потенциального офиса, гибкое пространство с возможностью устройства разных типов рабочих мест. В контексте становления новой урбанистики коворкинги рассматриваются как разновидность «третьих мест» – городских общественных пространств, объединяющих людей для общения и творческого взаимодействия.

В современном дизайне все более популярной становится идея гибких офисов или коворкингов. Многим организация такого типа кажется идеальной – открытое пространство, сформированное с возможностью выделения изолированных мест для групп и индивидов. Каждая рабочая зона отгорожена декоративными элементами, что позволяет создавать индивидуальные по дизайну коворкинги, не обезличивая данный тип планировки. Зонирование избавляет от шума, но не позволяет полностью уединиться, здесь каждый чувствует себя частью рабочего целого. Планировочная структура данного типа офисов дает возможность структурной реорганизации плана, поскольку основные планировочные единицы – это мобильная мебель и функционально-декоративные элементы зонирования. Большое внимание уделяется зонам отдыха и общения. Все это помогает повысить уровень производительности и качество работы сотрудников, сделать сам процесс более увлекательным, не таким обыденным и монотонным. Если раньше тенденцию гибких офисов поддерживали креативные агентства и творческие компании, то сейчас это становится популярным и среди серьезных корпораций по всему миру.

Сегодня планировочная структура офисов позволяет реализовать смелые дизайн-проекты, способствующие творческому индивидуальному подходу в работе. Следует отметить нестандартный подход в дизайне офисов компании «Google» и «Facebook». Они отличаются уникальными интерьерами, в которых основной идеей дизайна является формирование рабочей среды для максимальной стимуляции креативного мышления (рис. 8). Рабочие места здесь занимают минимальную площадь. Большая часть пространства отведена для переговорных и «едальных» площадок (ресторан и мини-кухни), оформленных по принципу детских площадок [10]. Сценарий планировки офиса предполагал, что в неформальном пространстве сотрудники будут активно общаться с коллегами из соседних отделов.

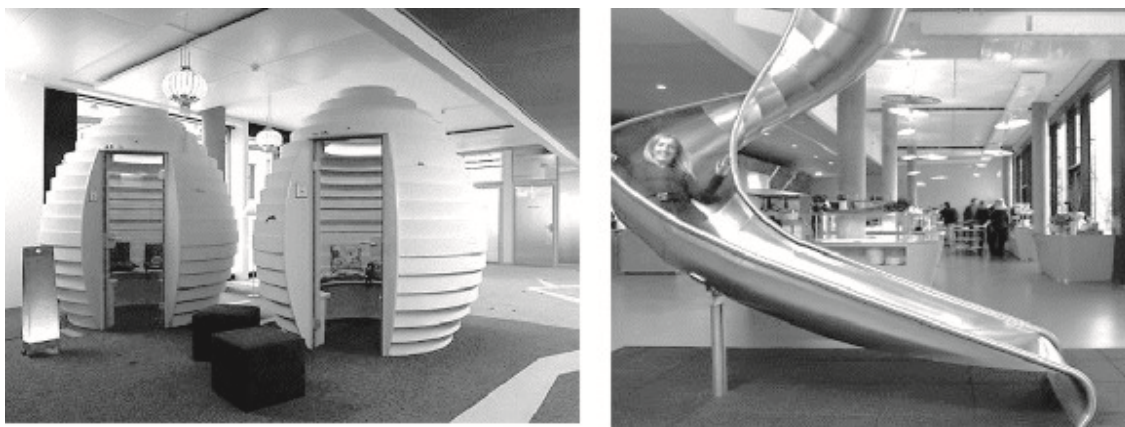


Рис. 8. Офис компаний Google, Цюрих. Архитектурное бюро Camenzind Evolution

Данный планировочный подход – это новая тенденция в организации офиса. Такой план подразумевает полный отказ от фиксированных рабочих мест и использование офисных зон для выполнения определенных задач и функций. Понятие «гибкий» офис, в первую очередь, говорит о возможности рабочей среды подстраиваться под современный образ жизни и современные подходы к работе. Поскольку на сегодняшний момент работник не привязан к рабочему столу, т.к. техника стала легкой и мобильной. Работник может заниматься делами фактически из любого удобного ему места.

Таким образом, концепция и планировочная структура офиса менялась несколько раз, последовательно трансформируясь от индивидуальных кабинетов к общему пространству, от индивидуальных рабочих ячеек к авторскому дизайну. Этому предшествовала эпоха офисных работников, непосредственно располагавшихся в маленьких административных помещениях рядом с производственным цехом. Следующим этапом развития плана офиса является формирование полноценных отделов в новом типе зданий-небоскребах. Такой отдел впоследствии приобретает «свободную» планировку в виде подобия природной структуре. Общий зал с его особенностями планировки и невозможностью изоляции от «соседа» провоцирует следующий этап – индивидуальное рабочее место в общем зале. Как следствие этого, появляются кубиклы. Со временем кубиклы утрачивают актуальность, давая старт новой тенденции «гибкого» офис в виде коворкинга с одной стороны и офиса-«игровой комнаты» – с другой.

И, наконец, современная тенденция планировки офиса – это индивидуальный дизайн, отражающий культуру компании и стремящийся максимально обеспечить комфорт каждому работнику по его предпочтениям.

Список библиографических ссылок

1. Форти А. Объекты желания. Дизайн и общество с 1750 года (пер. с англ. И. Форонова). М. : Изд-во Студии Артемия Лебедева, 2013. 456 с.
2. Ким А. А., Ромови А. Легенды офиса. Всемирная история офисов. URL: <http://www.proza.ru/2008/10/01/401%D0%BB%D0%B5%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D1%8B> (дата обращения: 26.03.2017).
3. Краткая история офиса // Он-лайн интернет-журнал «Петербург 3.0» URL: <http://spb30.ru/blogs/kratkaya-istoriya-ofisa> (дата обращения: 06.03.2017).
4. Cindy Allen. Best of office: architecture & design. FL. : Boca Raton. 2012. 248 p.
5. Майерсон Дж., Росс Ф. Бизнес-центры и офисы. Лучшие проекты мира. М. : Изд-во Антона Жигульского, 2008. 216 с.
6. Крис Ван Уффелен. Коллекция: Офисы. М. : Магма, 2011. 512 с.
7. The Key to London's coworking Success// online coworking magazine «Deskmag». URL: <http://www.deskmag.com/en/the-keys-to-london-s-coworking-spaces-success-959> (дата обращения: 22.03.2017).
8. Home office decor ideas to revamp and rejuvenate your workspace. URL: <http://www.homedit.com/home-office-decor-ideas/> (дата обращения: 04.02.2017).
9. 5 Ways to Make Your Office Look More Fun and Less Corporate. URL: <http://designlike.com/5-ways-to-make-your-office-look-more-fun-and-less-corporate/> (дата обращения: 11.02.2017).
10. Браун М., Галиндо М. Атлас мирового интерьерного дизайна. М. : Магма, 2011. 512 с.

Burova T.Y. – candidate of architecture, associate professor

E-mail: tadrik@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Office: stages of development in the formation of planning structure of space

Abstract

Problem statement. For example the comparative characteristics of the spaces of offices of different stages to identify trends in the organization of this space.

Results. Comparison of facts and objects allow us to identify common methods and signs of the formation of the interior space of offices. The evolutionary character of space formation is shown with connection with historical events, scientific and technical progress and changes in taste and stylistic preferences in interior design.

Conclusions. The significance of the results is to determine the characteristics of the process

of the formation of the planning structure of the office. Of particular importance is a brief overview of the innovative planning solutions to the offices of each stage, later won international fame and became the prototypes of office space around the world. It is revealed that spatial characteristics are determined by the needs of the employee and leadership commitment. As a result, the offices of system of separate offices evolved in open spaces, then formed cubicle, and subsequently the real «game» room. There was such a thing as a flexible office.

Keywords: office, office space, working place, cubicl, coworking, flexible office.

References

1. Forti A. The objects of desire. Design and society since 1750 (translated from English. I. Foronova). M. : Publishing house of the Studio of Artemiy Lebedev, 2013. 456 p.
2. Kim A. A., Romovi A. Legends office. World history offices. URL: <http://www.proza.ru/2008/10/01/401%D0%BB%D0%B5%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D1%8B> (reference date: 26.03.2017).
3. A brief history of the office / Online Internet-magazine «Petersburg 3.0» URL: <http://spb30.ru/blogs/kratkaya-istoriya-ofisa> (reference date: 6.03.2017)
4. Cindy Allen. Best of office: architecture & design. FL. : Boca Raton, 2012. 248 p.
5. Meyerson J., Ross F. Business centers and offices. The best projects of the world. M. : Publishing house of Anton Zhigulsky, 2008. 216 p.
6. Chris Van Uffelen. Collection: Offices. M. : Magma, 2011. 512 p.
7. The Key to London's coworking Success// online coworking magazine «Deskmag». URL: <http://www.deskmag.com/en/the-keys-to-london-s-coworking-spaces-success-959> (reference date: 22.03.2017).
8. Home office decor ideas to revamp and rejuvenate your workspace. URL: <http://www.homedit.com/home-office-decor-ideas/> (reference date: 4.02.2017).
9. 5 Ways to Make Your Office Look More Fun and Less Corporate. URL: <http://designlike.com/5-ways-to-make-your-office-look-more-fun-and-less-corporate/> (reference date: 11.02.2017).
10. Brown M., Galindo M. Atlas of world interior design. M. : Magma, 2011. 512 p.

УДК 71158

Зиятдинова А.Р. – студент

E-mail: ziatdinova.alina91@gmail.com

Фахрутдинова И.А. – кандидат архитектуры, доцент

E-mail: fahinessa@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Подходы к проектированию соседских пространств в контексте социологических теорий создания благоприятной городской среды

Аннотация

Постановка задачи. Цель – выработать подход в вопросах формирования жилой среды, а именно соседских пространств; проанализировать социологические теории, посвящённые: добрососедству, городской партиципации, средовой (городской) самоидентификации, теории разбитых окон, городскому одиночеству, видеоэкологии; выявить взаимосвязь архитектуры с развитием общества в целом и психологией личности в частности.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в теоретическом обосновании связи между архитектурным пространством жилой среды и общественными, физическими, биологическими и химическими процессами; разработке подхода к проектированию жилой среды и авторская программа по реконструкции дворовых и придомовых соседских пространств.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в возможности применения данных социальных исследований в процессе проектирования, разработке сценария/программы личных и общественных поведенческих моделей.

Ключевые слова: соседское пространство, добрососедство, городская партиципация, средовая (городская) самоидентификация, теория разбитых окон, городское одиночество, видеоэкология.

Жилая среда – сложная структура, формирующая облик города, отражающая общественные процессы и общий уровень жизни. До 80 % площади жилых территорий составляют, так называемые, жилые и общественные «пустоты»: межквартальные проезды, пешеходные бульвары и придомовые территории, в частности дворы. В условиях интенсивной урбанизации: роста городского населения, развития коммуникаций и технологий, территории, располагающиеся в непосредственной близости с местом проживания человека, эти «пустоты» приобрели статус буфера между частным безопасным пространством дома и динамичной городской средой [1].

Другой актуально проблемой современного города является территориальная отдалённость близких и родственных людей относительно друг друга, также свойственная городскому пространству, формирует дополнительную функцию жилых образований – удовлетворение коммуникативных потребностей, методом организации соседских отношений. В нынешнем виде жилая среда не способна справиться с возложенными на неё задачами, что приводит к разрушению соседства, как социального института [2]. Подобная проблема характерна не только городам России, и поэтому архитектурная и градостроительная деятельность «зрелых» городов всего мира идёт по двум основным направлениям:

1. адаптация существующей застройки под новые потребности;
2. создание новых объектов.

В условиях сложившейся застройки оба направления имеют определенные сложности в реализации:

1. изменения ограничены рамками городского каркаса, сложившейся инфраструктуры и общей застройки;
2. создание новых объектов ведётся на ранее неосвоенных территориях и в замещение объектов, вышедших из эксплуатации;
3. в городской структуре имеет точечный характер, и соответственно не способно произвести комплексную реновацию среды.

Особое внимание в решении данных проблем приобретают формирование дворовых территорий, как части жилой среды – в данном контексте они являются уникальным ресурсом адаптации и деформации города. Но чтобы понять, какие подходы необходимы к проектированию дворовых пространств, способных удовлетворить современные запросы общества, необходимо рассмотреть теоретическую базу градостроительных и социологических теорий, анализу которых и посвящено данное исследование.

Формирование жилой среды и подходы к ее проектированию тесно связаны с историей развития европейского градостроительства. Относительно развития российских городов её можно условно разделить на три периода: «Советский период» (1925-1991 гг.), «Постсоветский период» (середина 1980-х-1990-е годы) и «Период современной России» (с 2000-х годов).

Каждый период характеризуется своими уникальными приёмами градостроительной и социальной организации, опирающимися на соответствующую периоду идеологию:

В советский период главенствующую роль играло городское планирование, основанное на *создании коммунистической модели*: идея совместного быта, труда и досуга. Большую роль в этот период обретают общие жилые пространства и дворы, где проходит основная деятельность жителей в нерабочее время.

В этот же период, начиная со второй половины 50-х годов и по 1990-е годы, свои условия на формирование среды диктует *идеология социализма* – в это время происходит масштабный рост существующих городов и стремительное возникновение новых. Основное внимание при градостроительном проектировании районов уделяется производственным объектам (заводам и фабрикам), а социальная сфера (жильё, магазины, образовательные учреждения) создается с целью расселения максимального количества людей в системе «городского общежития» [3].

Совершенно иная идеология – *формирование демократии и рынка* ознаменовала период современной России. Резкий переход к принципиально новой социально-политической модели вызвал серьёзный резонанс в обществе и градостроительных теориях: страна находилась в состоянии эйфории от обретённой свободы, но было абсолютно непонятно, как жить дальше. На этом фоне происходит резкое сокращение (почти в два раза) жилищного строительства, а архитектурная и градостроительная деятельность пошла по двум основным направлениям: первое – приспособление существующей застройки под новые потребности и второе – создание новых объектов. Важным моментом в этот период является возвращение к *идеям гуманизации* – идеологии, в основе которого лежит уважение к людям, забота о них и их потребностях [4]. Под процессом гуманизации предполагается создание условий, способствующих психологическому и духовному комфорту человека в искусственном окружении. При градостроительном подходе наравне с нормативно-правовыми аспектами проектирования и реставрации рассматриваются физические, психологические, социальные и др. теории.

1. В последние годы всё больше поднимается вопрос о том, что приводит к счастью человека в процессе его взаимодействия с искусственной средой. Традиционно вопросом счастья занимались умы священников, философов и писателей, интерес исследователей в архитектурной области эта тема гуманизации рассматривается как влияние архитектурной среды на психику и эмоциональное состояние человека, а также на социальную структуру общества. В подтверждение важности формирования не только визуально приятной, безопасной, но и основанной на психологических аспектах, городской среды свидетельствует база следующих научных исследований:

2. Исследователь М. Черноушек утверждает, что окружение человека, кроме измеримых физических, химических объектов и явлений, включает в себя психологическую характеристику, которая выражается в эмоциональных откликах и вызванных чувствах.

3. По данным, представленным английским архитектором Питером Смитом в своей работе «Динамика урбанизма», 90 % информации об окружающем нас мире, не осознаётся человеком, а воспринимается на подсознательном уровне.

4. Институт сравнительных социальных исследований CESSI провёл ряд исследований, посвящённых условиям жизни в России. Целью работы было изучение

мнения жителей о своём городе, их представлений о комфорте и качестве среды. Данные, ставшие итогом исследования, свидетельствуют о том, что «россияне воспринимают свой город как малую родину, но не считают их местами комфортного проживания» [3].

5. По мнению Л. Мамфорда (автора термина «Мегамашина») «формирование человека перемещается в сферу символической коммуникации, а не материальных городских форм». Свои рассуждения он сводит к выводу: ключевое значение в урбанистических теориях имеет размер города.

6. Интересной с точки зрения оценочного восприятия городской среды является работа Кевина Линча «Образ города» [4]. Автор акцентирует внимание на влиянии общего «положительного имиджа» города и эстетики среды на эмоциональное благополучие человека. Теория К. Линча отличается от идей Мамфорда тем, что объектом внимания в его труде является визуальный образ города [5].

Ученые обращают внимание, что в мегаполисе неотъемлемой частью жизни человека стала тревожность. При благоприятных обстоятельствах, физическом здоровье и положительном настроении она практически незаметна. Но беспричинные приступы агрессии, фобии, депрессия, подавленность и другие проявления накопившегося негатива проявляются в сложные для организма человека моменты. Грамотная организация городского пространства в данном контексте способна восполнить энергию недостающую горожанам, снизить количество внешних раздражителей, гармонизировать эмоциональное состояние.

Важное жизненное значение для человека имеют не только физические блага (наличие жилья и пищи), но и дружба и другие союзы – они издревле играли большую роль в групповой охоте и способствовали совместному питанию, воспроизводству и даже групповому воспитанию детей. Данное социологическое явление также стало предметом исследователей к пути понимания вопросов формирования поселений. Рассмотрим несколько современных теорий, значительно повлиявших на современные подходы к городской среде [6].

Добрососедство

Межличностные отношения в системе удовлетворённости жилой средой и жизнью в целом по значимости ставятся на второе место после удовлетворенности браком. Пространственная близость соседей сочетается с психологической дистанцированностью, создаёт противоречивость в вопросе создания соседских общностей, потенциально способна стать как источником ежедневных стрессов и психологической опасности, так и возможной помощи и поддержки.

Фишер выделяет три фактора, влияющих на качество и развитие соседских отношений:

1. функциональная зависимость (общие территориальные и прочие интересы);
2. наличие социальных связей (родство, этническая связь);
3. отсутствие альтернатив.

Также автор подчеркивает, что для положительного значения роли соседства необходимы социальные психологические регуляторы соседских взаимоотношений.

По мнению немецкого социолога Фердинанда Тённиса, урбанизация подвергла деформации тесные связи между личностями – городское общество XXI века характеризуется новыми не типичными прошлому столетию принципами, «отношения основываются на функциональных и мимолетных связях».

Американский культурантрополог Роберт Редфилд в 1940-х годах, проводя аналогию между сельским и городским обществами, дал второму следующее описание:

1. более крупные размеры, контакты и коммуникация между центрами популяций, больше разнообразие ролей;
2. выше степень индивидуализма и грамотности;
3. узы родства дезорганизованы;
4. преобладает секуляризованный модус [7].

В своем исследовании ученый подмечает, что в крупных городах и мегаполисах у человека меньше возможностей и поводов общаться с соседями. Но факт соседства

существует во всех жилых средах независимо от их размера и расположения и выражается либо в виде взаимоотношений, либо в виде их отсутствия.

Группа социологов Университета Мэриленда (США), проанализировав в течение 30-и лет образ жизни и привычки почти 30-ти тысячи человек, пришла к заключению, что счастливые, в целом довольные своей жизнью люди предпочитают тратить свободное время на чтение и общение с другими людьми. Люди с низким уровнем счастья на 20 % больше смотрели телевизор. Психологи объясняют, что при стрессе и плохом настроении человеку проще всего отвлечься от повседневных проблем просмотром телевизора.

Теория добрососедства напрямую повлияла на процессы формирования соседских сообществ – так, весной 2016 года в Москве была открыта «Школа добрососедских отношений». Целью проекта является подготовка профессионалов, способных качественно улучшить уровень жизни больших городов средствами развития соседских взаимоотношений. Миссия школы – научить людей уживаться вместе, дружить, строить модель социально-коммуникативной ячейки, способной совместно решать проблемы, касающиеся чистоты, комфорта и безопасности своего места жительства, разделяя гордость за «свой дом», «свой двор».

Городская партиципация

Партиципация – сопричастие и приобщение личности к совместной деятельности или сообществу, общине, семье, государственности, первому лицу в обществе и т. Д.

Идею существования коллективных представлений как определяющей черты мышления общества была предложена французским философом, антропологом и этнологом. Леви-Брюль Люсьеном в 20-х годах XX в. Партиципация сегодня работает на уровне двора, квартала, т. Е. на объектах такого масштаба, где жители удерживают «целое» и, следовательно, могут принимать ответственные решения. При таком подходе у каждого участника складывается личное и заинтересованное отношение к будущему проекту – удобной и желанной среде обитания. Таким образом, формируется «архитектура без архитектора»

Исследователи считают, что одной из первостепенных проблем крупных городов стало отсутствие территориальной самоидентификации жителей. Горожане не чувствуют себя участниками социальной жизни, хозяевами пространства, соответственно относятся к среде проживания отчуждённо и безответственно. Формирование личностного заинтересованного отношения к окружающей среде возможно при привлечении жителей к решению архитектурных и градостроительных задач: проведение открытых слушаний, создание добровольных активистских организаций, наделение жителей некоторыми полномочиями по реорганизации городского пространства.

Проблемой городской партиципации можно считать то, что в той форме, в которой она существует на данный момент, она не борется с проблемами мегаполиса, а только маскирует их. Создаёт у горожан иллюзию вовлечённости в принятие решения, и зачастую оставляет разочарованными в получившемся в итоге результате.

Однако, в отечественной архитектурной деятельности в последнее время все чаще используются метод партиципации, так, например, проводятся различные фестивали по улучшению благоустройства, в которых любой желающий может принять участие (Том Сойер Фест в городах Самара, Казань, Тюмень, 2016 – 2017 гг.), жителям предлагают сформировать пожелания для проектирования общественных зон (республиканский проект «Скверы и парки Татарстана», 2016 – 2017 гг.) и др.

Концепция Дж. Голда и его последователей о средовой (городской) самоидентификации

Сущность концепции заключается в следующем: Средовая идентичность рассматривается в смысловом контексте как настоящего времени «кто Я здесь и сейчас», так прошедшего и будущего времён. Понимание собственного «Я» в средовом смысле для человека формируется из восприятия себя в качестве обитателя конкретной территории и члена её различных социальных групп.

Дж. Голд в своих рассуждениях на тему самоидентификации городских жителей с городским пространством и формирования субъективного образа города приходит к

интересным выводом: «Видимо, человек не способен идентифицировать себя с городом в целом, однако вполне может ощущать свою принадлежность к какому-либо внутригородскому сообществу». И выявляет средовую идентичность, которая включает в себя два основных момента:

1. Осмысление норм и правил, соответствующих городскому жителю – «я горожанин». Отношение к среде проживания на основании личностных позиций и интенций;

2. Идентификация с конкретным местом – «я москвич», «я житель Кировского района Казани».

Группа под руководством профессора Университета Хельсинки Маркуса Джокела составила психологический портрет 56-и тысяч жителей Лондона, основываясь на 5-и базовых критериях – нейротизм, открытость опыту, доброжелательность, добросовестность и экстраверсия. Психологи соотнесли эти показатели с местами проживания в городском пространстве и установили, закономерности: в центральных районах живут люди, более открытые новому, были выявлены также районы с преобладанием экстравертов и интровертов соответственно.

Американский психолог Шигехиро Оиши (Shigehiro Oishi) пошёл дальше своих предшественников и исследовал вопрос эмоционального восприятия человеком атмосферы тех или иных районов внутри одного города. По мнению Оиши, различное восприятие разных районов города – сложное, но подвластное объективному анализу явление. Основной идеей исследования является теория о психологической природе подобных различий. В рамках своей работы он обращает внимание не на уровень заработной платы или образования жителей того или иного района, национальности, и религиозных взглядов, а на их индивидуальные качества – «экстраверты или интроверты, добродушные или нет и так далее» [8].

Разница в атмосфере городов разных стран очевидна – это различия в культуре, языке, менталитете, процессах становления и развития государства в целом. Различается и психологический портрет жителей разных районов города. Эти качества используются в современных подходах к проектированию городских образований и, прежде всего, на уровне предпроектного исследования, призванного выявить культурные коды того или иного места проектирования.

Теория разбитых окон в концепции социологов Джеймсона Уилсона и Джорджа Келлинга

Теория, рассматривающая несущественные бытовые правонарушения, как предпосылки к преступности в целом, была сформулирована в 1982 году американскими социологами Дж. Уилсоном и Дж. Келлингом. В основе теории лежит утверждение, что лояльное отношение к мелким нарушениям закона, таким как: выбрасывание мусора на улице, прыжки через турникет, распитие алкоголя в публичных местах и т.д. подталкивают других людей на совершение подобных или более существенных нарушений. Падает «планка допустимости», в обществе снижается моральный ценз на преступность в целом.

Канадский социолог Малкольм Гладуэлл в книге «Переломный момент» высказал гипотезу о том, что человек совершает правонарушения не по причине плохой наследственности или недостаточного воспитания, а под влиянием окружающей среды.

Эту мысль поддержали учёные университета Гронингена (Нидерланды). В подтверждение они провели ряд экспериментов:

1. Убрали урны с идеально чистой велопарковки у магазина и на находящиеся там велосипеды повесили рекламные флаеры. Листовки на землю бросили 33 % велосипедистов. Эксперимент повторили, изменив один параметр – стену магазина покрыли не имеющими смысла изображениями и надписями. В этом случае листовки выбросили уже 69 % велосипедистов.

2. В Нидерландах по закону использование петард и фейерверков разрешено только в новогодние праздники. В ходе звукового эксперимента выяснилось, что люди чаще бросают мусор на улице, когда слышат звук разрывающихся петард. В двух других экспериментах людей проверяли на способность совершить мелкие кражи. В почтовом ящике оставлялся конверт с видневшейся купюрой 5 евро. В ситуации с чистым

почтовым ящиком только 13 % прохожих (из 71) присвоили конверт, в то время как из замусоренного почтового ящика конверт забрали 27 % прохожих (из 60) [9].

В качестве примера авторы привели историю с разбитыми окнами: «если не заменить в доме одно разбитое стекло, то вскоре в этом доме не останется ни одного целого окна, а затем начнется мародёрство и резкое ухудшение общей криминогенной обстановки в районе»

Согласно «теории разбитых окон», люди по своему отношению к окружающей среде делятся на 3 типа:

– 5 % населения, люди, которые ни при каких обстоятельствах не станут мусорить в неположенных местах, вне зависимости от того, чисто там или грязно;

– до 90 % населения, люди, которые никогда не станут мусорить там, где чисто, но могут себе это позволить там, где и уже было грязно;

– 5 % населения, люди, которые мусорят вне зависимости от действий окружающих и состояния окружающей среды, тем самым запуская процесс правонарушений.

Снижение планки допустимости в свою очередь приводит к явлению социальной и культурной аномии – состояние общества, при котором его члены не верят в существующие ценности, характерной чертой является утрата нормативных и нравственных рамок поведения [10].

Городское одиночество

Одиночество – социально-психологическое явление, эмоциональное состояние человека, связанное с отсутствием близких, положительных эмоциональных связей с людьми. Термин часто используется в негативном смысле – изоляция. Однако, существует его позитивное значение – уединённость.

Одиночество (изоляция) – одно из негативных последствий урбанизации городов. Оно является одной из основных причин суицидальных попыток, агрессии, замкнутости, воровства, жестокого обращения с людьми и животными, насилия. По мнению экспертов, данная проблема чаще затрагивает жителей мегаполисов, при этом предполагается, что дело в психологическом состоянии субъективной отчуждённости жителей крупных городов.

Комплексно социологическая и психотерапевтическая стороны вопроса одиночества, в том числе и городского, раскрыты в труде Р. Вейс «Вопросы изучения одиночества». В своих работах автор рассматривает вопросы сущности одиночества, его форм, методов объективного измерения уровня изоляции и опирается на труды других учёных, работающих над данной проблемой: Энн Пепло, Фриды Фромм-Рейхман, Мустакаса, Брэдберна и др.

6 июня 2013 года в НИУ ВШЭ в Москве состоялся семинар Лаборатории сравнительных социальных исследований (ЛССИ), организации, занимающейся изучением социологических процессов общества, проблем субъективного благополучия, счастья, национализма и миграций. С докладом «Одиночество в толпе», посвящённым истокам городского одиночества в России выступил Кристофер Сводер, старший научный сотрудник ЛССИ [10]. В рамках семинара Кристофер Сводер представил промежуточные данные своего исследования феномена городского одиночества. Целью его работы стало выявление факторов, вызывающих чувство одиночества, и поиск зависимости уровня коммуникативного комфорта в зависимости от места проживания (город/село). В своей работе автор использовал данные опросов «*Всемирного исследования ценностей*», проведенного в 2011 году по Москве (1000 респондентов), Тамбову (1000 респондентов), сельской России (1237 респондентов) и Татарстану (1000 респондентов). В качестве зарегистрированной переменной было выбрано субъективное ощущение одиночества, независимыми переменными приняты индикаторы городских ценностей (индивидуализм, пресыщенное отношение к жизни и доверие) и социальной изоляции (возраст, семейное положение, инвертированное участие в социальных организациях, статус иммигранта, наличие работы) [11].

Итогом исследования стали тезисы:

1. Люди с коллективистскими ценностями, меньшим количеством детей и более высоким образованием более одиноки.

2. Индивидуалисты с такими же характеристиками, напротив, чувствуют себя менее одинокими.

3. Уровень одиночества увеличивается с возрастом.

4. Жители Москвы более одиноки в сравнении с жителями других регионов России.

5. Незамужние женщины чувствуют себя более одинокими, чем холостые мужчины.

6. На ощущение счастья в большей степени влияет доход, чем наличие у человека пары.

Комментарии по данным выводам дал заведующий кафедрой клинической психологии СПбГПМА Дмитрий Исаев: «Одиночество – вопрос субъективного ощущения, степени личной удовлетворённости социальной коммуникативной потребности человека во взаимодействии с окружающими людьми». Зависимость уровня счастья от степени дохода, по мнению Д. Исаева, свидетельствует о молодости нашего общества. Коммунистический строй сформировал устойчивое мнение о том, что материальные блага являются одним из основных факторов благополучия. В «зрелом» обществе, где частная собственность существовала всегда, люди, посвятив значительную часть жизни накоплениям и обогащению, приходят к выводу, что наиболее значимыми вещами являются отношения с близкими людьми, духовная близость и получение эмоций [11]. Нередко, на этот момент у человека оказываются несформированными или разорванными/деформированными социальные связи. И здесь можно вспомнить слова известного немецкого философа Карла Юнга: «Чаще всего люди в первой половине жизни удовлетворяют свои потребности, реализующиеся через накопление, а во второй – понимают, что существует нечто гораздо более важное» [12].

Видеоэкология

Термин «видеоэкология» сформулировал доктор биологических наук Филин В.А. в 1989 году. Видеоэкология – это наука об экологии визуальной среды и красоте. Термин образован от двух слов: «видео» – все то, что человек воспринимает при помощи органа зрения и «экология» – наука о разных аспектах взаимодействия человека с окружающей средой. Теоретической основой видеоэкологии является «концепция об «автоматии саккад»:

1. Через зрение мы получаем до 80 % информации о внешнем мире.

2. Развитие человека происходило в большей степени в окружении природной среды, что сформировало специфическую систему зрительного восприятия.

3. Урбанизация, ставшая одним из самых важных феноменов XX века, внесла существенные изменения в облик привычной для глаза человека окружающей среды.

В основу научной гипотезы видеоэкологии заложено утверждение о несоответствии визуального состояния городской среды и сложившегося в течение эволюционного развития зрительного восприятия человека. Иными словами, глаз оказывается в нетрадиционной для себя с физической точки зрения, стрессовой ситуации [14]. Научно доказано, что зрительная ось глаза, даже когда человек спит или смотрит в одну точку, меняет свое направление через каждые полсекунды, т.е. глаз постоянно находится в состоянии движения – сканирования пространства. При этом после каждого движения глаз должен зацепиться за какую-либо зрительную «контрольную» точку (в городской среде: шпиль на башне, клумба, фонтан, необычное окно дома и т.д.). Если этого не происходит, возникают определенные проблемы – увеличивается амплитуда движения глазной оси, нарушается работа зрительной системы и как следствие ухудшается зрение, подкакивает внутричерепное давление, нарастает нервное напряжение.

В городской однотипной застройке существует большое количество визуальных раздражителей, которые разделить на:

1. Гомогенные – однородные плоскости: голые бетонные стены, глухие заборы, асфальтированные покрытия, остекление

2. Агрессивные – дублирование однотипных элементов: окна многоэтажных зданий, облицовочная плитка, заборы, решётки и т.д.

В условиях города чаще всего встречается комбинация двух типов: например, бетонная стена с ритмичной окон или асфальтовое дорожное покрытие со столбами искусственного освещения.

Как и предыдущие теории, видеоэкология повлияла на подходы к предпроектному анализу и решению выявленных проблем на стадии проектирования средовых объектов.

Рассмотрев основные теории, оказавших значительное влияние на современное развитие городских территорий, мы можем сделать следующие выводы: Теории о существовании зависимости между застроенным пространством и социальными процессами общества разрабатываются, начиная с конца XX в. и на сегодняшний день не существует универсальной парадигмы развития жилой среды, способной объединить все разработки по данной теме.

Однако, обобщая основные референции указанных теорий, мы видим, что жилой двор в условиях существующей жилой застройки может рассматриваться со следующих позиций:

1. опыта развития среды на фоне развития цивилизаций, истории народов и стран;
2. связей отдельных архитектурных объектов с мыслями и действиями людей;
3. «искусственной естественности» условий, степени комфорта, психологической и физической защищённости;
4. влияния архитектуры на психологическое сознание, индивидуального и коллективного бессознательного восприятия;
5. наслоению образов и символов, свойственных региону и др.

Данные позиции должны лечь в основу подхода к проектированию соседских пространств как в частных, так и полуприватных зонах жилой среды и выразиться в проектных концепциях к определенным объектам.

Одним из результатов данного исследования, в рамках концепций к подходам к формированию соседских пространств, стала разработанная авторами программа по реконструкции дворовых и придомовых пространств, которая основана на следующих принципах:

1. *Полицентричность* – при объединении квартала в единую структуру помимо единого центрального ядра проектируется несколько локальных доминант, расположенных на пересечении пешеходных маршрутов.

2. *Автономность пространств* – каждое пространство оборудуется всеми необходимыми объектами, т.е. формируются своеобразные самостоятельные функциональные единицы.

3. *Типологическое разнообразие* и функционально-типологическая интенсивность – уникальность и многообразие конструктивных и декоративных решений.

4. *Модульность* – сформированный набор функций в соответствии с площадью территорий делится на группы. Формируется модуль, сомасштабный застройке.

5. *Открытость и прозрачность решений* – вовлечение жителей в решение основных организационных и архитектурно-планировочных вопросов.

6. *Функциональное наполнение* территорий, основанное на данных опросов и собраний, открытых диалогов.

7. *Интеграция* частных и полуприватных пространств

8. *Привлечение жителей* к решению общих организационных и вопросов и задач благоустройства территорий.

9. *Трансформативность* (превращаемости) – формирования придомовой территории, как элемента временной архитектуры.

Таким образом, результатом проектирования дворовых территорий и других общественных пространств внутри жилой застройки является осознанный, подкреплённый научной базой положительный импульс, направленный на отдельного человека и общество в целом – создание благоприятной, безопасной, эмоционально и визуально комфортной среды.

Список библиографических ссылок

1. Зиятдинова А. Р. Место жилого двора в структуре общественных и частных (частных) городских пространств : сб. ст. 69 Международная научная конференция КГАСУ по проблемам архитектуры и строительства / КГАСУ. Казань, 2017. С. 176–177.
2. Зиятдинова А. Р. Роль социального аспекта в проектировании жилых дворовых территорий : сб. ст. 68 Всероссийская научная конференция преподавателей,

- аспирантов, соискателей и студентов по проблемам архитектуры и строительства / КГАСУ. Казань, 2016. С. 160.
3. Городничев А. Постсоветские трансформации городов // LAST30.RU: Проект «Последние 30». URL: <http://last30.ru/issue/city/research> (дата обращения: 20.05.2017).
 4. Маслова С., Волкова Н., Самоволик О., Волкова А. Борьба за горожанина: Человеческий Потенциал и городская среда : IV Московский урбанистический форум / Москва, 2016. С. 102.
 5. Олохова О. П. К Характеристике отечественной историографии строительства и развития социалистических городов // «Архитектон: известия вузов». 2014. № 45. URL: http://archvuz.ru/2014_1/13 (дата обращения: 25.04.2017).
 6. Орешко А. Н. Гуманизация архитектурной среды // Архитектон: известия вузов. 2010. № 30. URL: http://archvuz.ru/2010_2/4 (дата обращения: 19.04.2017).
 7. Лэндри Ч. Креативный город. М. : Классика-XXI, 2011. 399 с.
 8. Keizer K., Lindenberg S., Steg L. The Spreading of Disorder // Science. 2008. № 5908. P. 1681–1685.
 9. Wilson J. Q., Kelling G. L. Broken windows // contemporarythinkers.org: online resource. URL: <http://contemporarythinkers.org/jq-wilson/files/2013/05/Kelling-on-Wilson.pdf>. (дата обращения 29.03.2017).
 10. Мертон Р. К. Социальная структура и аномия // «Скепсис»: научно-просветительский журнал. URL: https://sceptis.net/library/id_632.html (дата обращения: 25.04.2017).
 11. Kennedy M., Paul L. Dealing with Neighborhood Change: A Primer on Gentrification and Policy Choices. Washington : Brookings Institution Center on Urban and Metropolitan Policy, 2001. 70 p.
 12. Бобров Е. А. Социально-экологические проблемы крупных городов и пути их решения // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2011. № 15 (110). С. 199–208.

Ziyatdinova A.R. – student

E-mail: ziatdinova.alina91@gmail.com

Fahrutdinova I.A. – candidate of architecture, associate professor

E-mail: fahinessa@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Design approaches for neighboring spaces in a context of sociological theories of creating a friendly urban environment

Abstract

Problem statement. The goal is to work out an approach in the issues of forming an inhabited environment, namely, neighborhoods; To analyze sociological theories devoted to: good-neighborliness, urban participation, environmental (urban) self-identification, the theory of broken windows, urban loneliness, videoecology; Identify the relationship of architecture with the development of society as a whole and the psychology of the individual in particular.

Results. The main results of the research consist in the theoretical substantiation of the connection between the architectural space of the living environment and social, physical, biological and chemical processes; The development of an approach to the design of residential environments and the author's program for the reconstruction of courtyards and neighboring neighborhoods.

Conclusions. The significance of the results obtained for the architecture consists in the architectural design of the neighborhood living spaces should include social research followed by the development of the scenario/program of personal and social behavioral models.

Keywords: neighborly space, friendly neighborhood, urban participation, environment (city) self-identification, theory of broken windows, urban loneliness, videoecology.

References

1. Ziyatdinova A. R. Place of living quarters in private and private institutions (private): dig. of art. 69 International Scientific Conference KSASU on Architecture and Construction / KGASU. Kazan, 2017. P. 176-177.
2. Ziyatdinova A. R. The role of the social aspect in the design of residential yard territories : dig. of art. 68 All-Russian Scientific Conference of Teachers, Postgraduates, Competitors and Students on the Problems of Architecture and Construction / KGASU. Kazan, 2016. P. 160.
3. Gorodnichev A. Post-Soviet Transformations of Cities // LAST30.RU: The Last 30 Project. URL: <http://last30.ru/issue/city/research> (reference date: 05.20.2017).
4. Maslova S., Volkova N., Samovolik O., Volkova A. Struggle for the townspeople: Human Potential and Urban Environment: IV Moscow Urban Forum / Moscow, 2016. P. 102.
5. Olohova O. On the question «Architecton: news of universities». 2014. № 45. URL: http://archvuz.ru/2014_1/13 (reference date: 25.04.2017).
6. Oreshko A. N. The Humanization of the Architectural Environment // Architecton: Izvestiya Vuzov. 2010. № 30. URL: http://archvuz.ru/2010_2/4 (reference date: 19.04.2017).
7. Landry C. Creative City. M. : Classic-XXI, 2011. 399 с.
8. Keizer K., Lindenberg S., Stegh L. Distribution of the disorder // Science. 2008. № 5908. P. 1681–1685.
9. Wilson J. Q., Kelling G. L. Broken windows // contemporarythinkers.org: an online resource. URL: <http://contemporarythinkers.org/jq-wilson/files/2013/05/Kelling-on-Wilson.pdf> (reference date: 29.03.2017).
10. Merton RK Social structure and anomie // «Skepsis»: scientific and educational journal. URL: https://sceptis.net/library/id_632.html (reference date: 25.04.2017).
11. Kennedy M., Paul L. Work with neighboring changes: a textbook on gentrification and policy choice. Washington : Brookings Institutional Center for Urban and Metropolitan Politics, 2001. 70 p.
12. Bobrov E. A. Socio-ecological problems of large cities and ways to solve them // Scientific bulletins of Belgorod State University. 2011. № 15 (110). P. 199–208.

УДК 620.91

Иванова Е.Ю. – старший преподаватель

E-mail: ivanova.e.u@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, Казань, ул. Зеленая, д. 1

Инновационные направления конструирования энергоэффективных ограждений

Аннотация

Постановка задачи. Требования к повышению эффективности энергоснабжения вплотную связана с рациональными конструктивными решениями, приемлемыми при проектировании зданий различных строительных систем. В данной работе рассмотрены энергоэффективные конструкции стен, окон и витражей, подвергнуты критическому анализу распространенные сегодня фасадные системы и рекомендованы пути их совершенствования.

Результат. Предложены инновационные решения, в основе которых лежит принципиально новый подход к использованию фотоэлементов в заполнениях оконных проемов и витражей, позволяющий им приспосабливаться к погодным условиям. Обозначены пути совершенствования фасадных систем, рассмотрены возможности адаптации нанотехнологий, успешно используемых в других отраслях промышленности, доказавших свою экономическую эффективность, к специфике строительной отрасли.

Выводы. Предлагаемые новые конструкционные решения помогают увеличить энергоэффективность ограждающих конструкций.

Ключевые слова: энергоэффективность, нанотехнологии, фасадные системы, инновационное направление, конструирование ограждений.

Научные исследования в рамках реализации государственных долгосрочных и целевых программ таких как «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан на 2011-2015 годы и на перспективу до 2020 года» направлены на поиски инновационных энергосберегающих технологий. В частности, это позволило разработать и внедрить в практику строительства многослойные ограждающие конструкции взамен однородным, уступающим им по теплозащитным характеристикам. На сегодняшний день наиболее распространенными являются две фасадные системы. Это «мокрый» и «вентилируемый фасад». По прошествии 10-15 лет их внедрения в практику строительства появилась возможность произвести критический анализ и дать оценку этим системам. Возникла необходимость выявить эксплуатационные и прочие недостатки и разработать способы их устранения с целью повышения энергоэффективности зданий.

Кроме того, последние достижения науки в области производства материалов, нанотехнологий, дают возможность внедрить принципиально новые конструктивные решения ограждений зданий и сооружений.

Будучи впервые применёнными в России около 15 лет назад «вентилируемые фасады» обрели сегодня широкую популярность. Это объясняется тем, что они обеспечивают требуемое сопротивление теплопередаче и панельных, и кирпичных стен во всех регионах РФ. Каркасная система, выполненная из несущих профилей, обеспечивает крепеж облицовочных листов или плит и поддерживает дождевой экран. Кронштейны, выполненные из нержавеющей стали или алюминия, обеспечивают коррозионную стойкость монтажной системы. Характерной особенностью «вентилируемого фасада» является наличие в его конструкции воздушного зазора, который обеспечивает движение восходящего потока воздуха, возникающего из-за перепада давлений. Вместе с этим потоком удаляется из толщи стены конденсат.

Такое решение позволяет решить сразу несколько проблем, связанных с повышением энергоэффективности ограждения. Одна из них – это удаление конденсационной влаги, образующейся в толще стены. Утеплитель при этом не увлажняется в процессе эксплуатации и тем самым сохраняет свои первоначальные теплоизоляционные свойства.

Кроме того, воздушный зазор можно рассматривать как температурный буфер, температура которого на 2-3 градуса выше температуры наружного воздуха. В результате теплоизоляционные характеристики вырастают в 1,5 раза.

При всех выше перечисленных преимуществах «вентилируемых фасадов» нельзя не отметить недостатки, выявленные в процессе их эксплуатации. Согласно Своду правил СП 23-101-2000 «Проектирование тепловой защиты» ширина воздушного зазора варьируется в пределах 40÷100 мм, в то время, как в западноевропейской практике он составляет 25÷50 мм. Уменьшение ширины воздушной прослойки позволило бы сократить расход крепежного материала. Еще один фактор, аргументирующий необходимость ограничения ширины воздушного зазора – это то, что при величине её свыше 80 мм возникает мощная тяга, при которой во-первых выветривается утеплитель, во-вторых может возникнуть шумовой дискомфорт и, наконец, резко возрастает пожароопасность объекта, огонь молниеносно распространяется по всем фасадам [1].

Эффективное функционирование фасадной системы зависит не только от совершенства конструкции, но в большей степени от теплоизоляционных материалов, используемых в этой системе. К утеплителю должны предъявляться повышенные требования стойкости к знакопеременному температурному режиму, пожаробезопасности, высокая биостойкость и паропроницаемость, стойкости к выветриванию, влагостойкости. При плотности утеплителя менее 100 кг/м³ происходит чрезмерная усушка, уменьшение линейных размеров и сползание плит, что неизбежно вызывает образование «мостиков холода» [2]. При повышенном водопоглощении теплоизоляционный слой деформируется, и вероятно его единичное или повсеместное слипание с листами облицовки. Обеспечить беспрепятственный эффективный воздушный поток по всей поверхности стены в этом случае не удастся, что нивелирует все положительные свойства навесного фасада. Кроме того, на наружной поверхности стены зачастую появляются влажные высолы и пятна, снижая декоративные качества стены. Сопротивление теплопередаче перестает соответствовать показателям, заявленным производителем.

Среди распространенных сегодня решений утепления фасадов заслуживают внимания системы типа «мокрый фасад». Теплоизоляционные плиты здесь крепятся к наружной стене штукатурным клеевым раствором и фасадными дюбелями. По слою теплоизоляции наносятся два слоя: прочный защитный слой штукатурки, армированный стеклосеткой и декоративный слой строительного раствора по грунтовке. Оптимальным вариантом утеплителя является минеральная вата (особенно каменная на основе базальта), которая обеспечивает огнестойкость и высокую паропроницаемость, за счет чего пары влаги легко проходят через слои утеплителя и штукатурки, а конденсат эффективно удаляется. Однако, зачастую выше названные преимущества сводятся на нет по одной из следующих причин: или низкой паропроницаемости штукатурки, или низкой паропроницаемости утеплителей, таких, как пенопласт.

При соблюдении выше названных рекомендаций использование «мокрого фасада» позволяет добиться значимых преимуществ, таких как создание комфортного микроклимата (стены «дышат»), снижение теплопроводности ограждения, улучшение звукоизоляции, защиты межпанельных швов в новых и реконструируемых зданиях и др.

Параллельно с исследованиями, связанными с усовершенствованием выше рассмотренных фасадных систем, крайне актуально вести разработки новых, инновационных решений в области энергоэффективных ограждающих конструкций. Одним из них является использование «прозрачной теплоизоляции», которая способна пропускать солнечный свет. В конструкциях стен с использованием такой теплоизоляции абсорбируется и накапливается гелиоэнергия, которая используется для отопления здания и в тоже время позволяет минимизировать его тепловые потери. Роль «прозрачной теплоизоляции» может играть акриловая пена, сотовый поликарбонат, капиллярное стекло и др. Повышенные теплоизоляционные свойства присущи им благодаря пористой или трубчатой структуре. На 95 % они состоят из воздуха. Из-за мелкого размера пор в этих материалах практически нет конвекции воздуха, и они не пропускают тепловое излучение. Так слой (силикагеля на основе кремниевой кислоты) толщиной 20 мм в 3 раза лучше сохраняет тепло, чем кирпичная стена толщиной 510 мм [3].

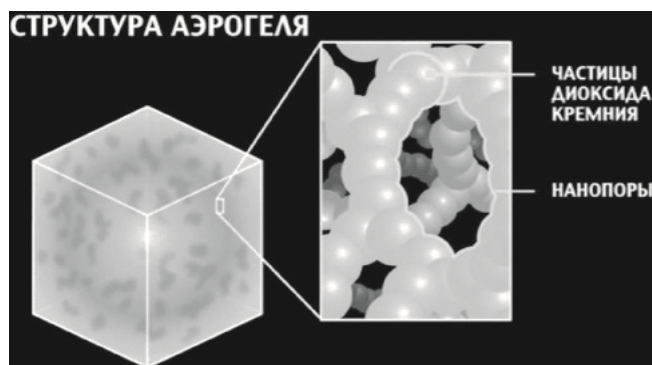


Рис. 1. Структура аэрогеля [4]

Материалы типа аэрогелей имеют размер микропор намного меньше длины волны видимого света, и вследствие малого рассеивания образцы толщиной 12 мм на 10 % прозрачнее, чем двухслойное остекление (рис. 1). Будучи заключенным в стеклопакет, такой утеплитель позволяет использовать солнечную энергию. Прозрачный верхний слой теплоизоляционного материала пропускает свет к внутреннему слою световодных трубок. Слой этот можно представить себе в виде множества связанных вместе прозрачных соломинок. С их помощью свет попадает на черный сорбирующий слой, где он и преобразуется в тепло, которое в свою очередь накапливается в стене. В зимний период года благодаря горизонтальному расположению световодов солнечные лучи беспрепятственно проникают к адсорбирующему слою, в то время, как летом они дают блики и отражаются от поверхностного слоя и капилляров, не доходя до стен дома, исключая тем самым перегрев помещения. Как следствие этого возможна значительная экономия электроэнергии на кондиционирование. На южных фасадах зданий удастся получить до 120 кВт/час с квадратного метра поверхности за отопительный период. Наиболее перспективными можно назвать два варианта конструкций с использованием прозрачной теплоизоляции. В первом случае теплоизоляция размещается перед массивной стеной, выполненной из кирпича или бетона и окрашенной в черный цвет. Стена получает тепловую гелиоэнергию и передает ее вовнутрь помещения. Ее количество по величине превышает потери, так что стены отапливают дом. Для защиты здания от перегрева в летний период года между наружным стеклом и утеплителем размещается затеняющее устройство, автоматически регулирующее оптимальный поток энергии, обеспечивая максимальный комфорт в помещении.

Целый ряд экспериментальных объектов в странах Западной Европы подтвердили эффективность использования прозрачной теплоизоляции. Расходы на отопление снижались с 225 кВт час/м² до 58 кВт час/м², т.е. потери энергии снижались на 70 %. [5]

Не менее эффективными являются варианты использования прозрачной теплоизоляции в конструкции навесных стеклянных фасадов, за которыми скрываются стены из кирпича или бетона с окнами обычного типа. Получая оригинальные экстерьеры с большими площадями остекления фасадов, мы при этом не снижаем теплозащитные качества ограждений. В результате реализации демонстрационного проекта реконструкции жилого дома, в процессе которого было произведено утепление стен прозрачной теплоизоляцией, удалось вдвое снизить эксплуатационные расходы: до 0,45 евро/м². Кроме того, резко уменьшились выбросы CO₂.

Особого внимания заслуживает еще один светопрозрачный теплоизоляционный материал. Это аэрогель, представляющий собой трехмерный кластер с размером элементов около 4 нм и размером пор около 10 нм. Таким образом, микроскопическая структура представляет собой сплошное однородное вещество, выгодно отличающее его от других пористых сред. Аэрогель сочетает в себе уникальные свойства: он прозрачен, достаточно прочен, благодаря оксиду кремния, и обладает рекордно малой теплопроводностью (0,015 Вт/мК). Слой такой теплоизоляции в 10 мм способен заменить минераловатную плиту толщиной 50 мм [6].

Еще одно инновационное направление – это применение вакуумной изоляции. Являясь самой эффективной изоляцией, к сожалению, в строительном производстве РФ она пока не находит широкого применения по экономическим и конструктивным соображениям. Микропористые кремниевые пластины диоксида упакованы здесь в газонепроницаемую вакуумную пленку. Эти сэндвич-панели обладают чрезвычайно низкой теплопроводностью, а именно в 5-10 раз меньшей, чем в случае использования традиционных систем. Вакуумные изоляционные панели и вакуумные изоляционные стеклопакеты получили широкое распространение в Германии при модернизации жилого фонда. Их теплопроводность около $0,004 \text{ W (mK)}$. Их коэффициент изоляции в 50 раз выше по сравнению с традиционным изоляционным материалом минеральной плитой той же толщины [6].

В традиционном двухслойном остеклении потери тепла можно существенно снизить путем создания вакуума в пространстве между остеклением в вакуумных стеклопакетах (рис. 2). При этом необходима установка уплотнителей между стеклами, чтобы избежать повреждения стеклопакета из-за воздействия атмосферного давления в 1,000 гПа, что соответствует нагрузке 10 тонн на 1 квадратный метр. Длительное давление газа требует создания герметичности, которую призваны обеспечить краевые прокладки по контуру панелей [7].

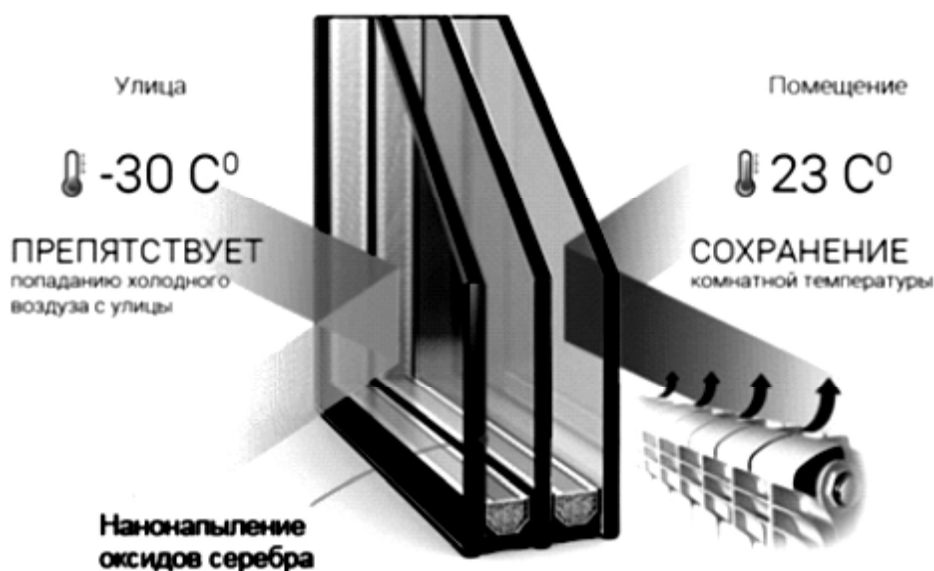


Рис. 2. Вакуумный теплоизоляционный стеклопакет [8]

По мере истощения запасов природных ресурсов углеводородного топлива, цена добычи и переработки которых постоянно растет, все большую роль в мировой энергетике начинают играть возобновляемые источники энергии, из которых солнечная – является одной из главных. Преобразовывать энергию солнечного излучения в электрический ток можно несколькими путями, но самый универсальный и масштабируемый способ – это прямое преобразование при помощи фотоэлектрического эффекта в полупроводниках типов «п» и «р» (рис. 3), который и лежит в основе модулей солнечной батареи [9]. Конструкции окон, которые кроме своих традиционных функций, способны были вырабатывать электроэнергию, были разработаны исследователями из калифорнийского университета. Им удалось создать гибкие солнечные батареи с прозрачностью 70 %, представляющие собой тонкую пленку, выполненную из полимерных материалов, в качестве основы, для которых используется пластик. Механизм наклеивания пленки на стекло максимально прост. Вышеизложенная идея может быть заложена в основу изготовления стеклопанелей заводского производства. КПД таких окон, питающихся солнечной энергией, способен резко возрасти и достигнуть 6 % и более [10].

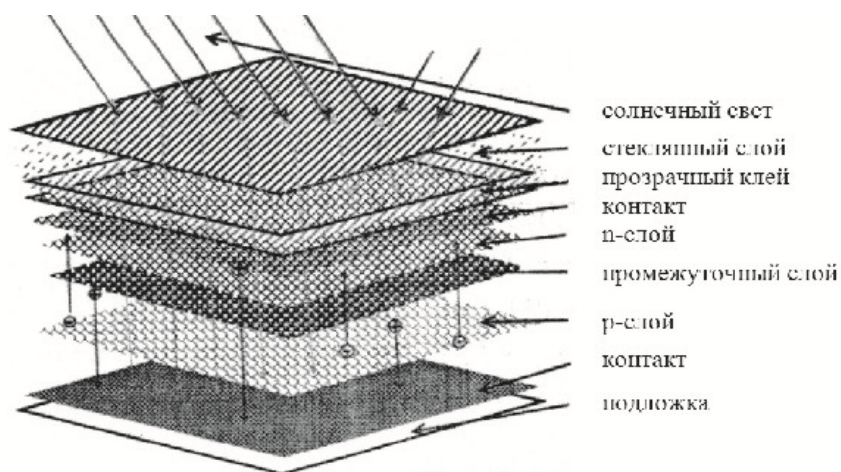


Рис. 3. Структура стекла с фотоэлементом [10]

Принципиально новый подход к использованию фотоэлементов, а именно в заполнениях оконных проемов, позволяет разработать окна, которые способны приспосабливаться к погодным условиям. Суть конструкции состоит в том, что между двумя слоями монолитного поликарбоната, сходного по своим свойствам с обычным стеклом, размещается пленка оксида ванадия. Эта пленка рассеивает солнечный свет и направляет его к краям окна, т.е. на участки, где расположены фотоэлементы. Кроме генерации электрической энергии такие окна отвечают за отражение инфракрасного излучения при повышении температуры.

Технологии солнечных батарей весьма разнообразны и имеют применение во многих областях производства, однако темпы внедрения этих технологий в строительную индустрию РФ неоправданно низкие. Вместе с тем, испытания сэндвич-панелей, наружный слой которых состоит из прозрачного стеклопластика, а за ним располагаются фотоэлементы на базе аморфного кремния, подтвердили практическую эффективность подобных систем, способных перевести здания на электрическое самообеспечение. Не менее эффективен второй вариант сэндвич-панели, внутренняя часть которой заполнена жестким вспененным полимером, выполняющим одновременно две роли: и несущего материала, и теплоизоляции, и двух слоев стеклопластика. Усовершенствовать эту конструкцию возможно за счет дополнительного верхнего слоя. В этом случае почти полностью прозрачный стеклопластик толщиной 2-3 мм будет защищен листом гибкого фотоэлемента от внешних воздействий [11].

Попытки расположить фотоэлементы на крышах и стенах зданий сдерживаются из-за целого ряда практических проблем: солнечные батареи на базе кристаллического кремния имеют значительный вес, требуют эксплуатационных расходов на очистку от снега и пыли, имеют повышенную чувствительность к малейшим повреждениям, которые способны снизить КПД и срок службы фотоэлементов. Попытки защитить их стеклом привели бы к еще большему утяжелению и удорожанию панели.

Для строительных целей альтернативным решением является использование тонкопленочных солнечных модулей из аморфного кристаллического кремния. Солнечные батареи из аморфного кремния тоньше, легче, дешевле и могут легко сгибаться без повреждений, что особенно важно в случае гибких стеновых конструкций. При нанесении тонких пленочных материалов с фотоэффектом на диэлектрическую подложку, в том числе стекло, механические свойства подложки, такие как жесткость, гибкость сохраняются, а толщина такого модуля практически не отличается от толщины подложки. Это позволяет использовать такие модули вместе или вместо традиционных строительных материалов на кровле или фасаде здания. Полупрозрачные модули различной окраски могут быть использованы для декоративного цветового оформления экстерьеров зданий, и это еще одно достоинство аморфного гидрогенизированного и микрокристаллического кремния в тонкопленочной технологии.

И, наконец, еще одним существенным достоинством этих модулей является возможность создания структур на очень больших площадях, будь то кровли или фасады.

Заслуживает должного внимания возможность использования оконных заполнений и витражей для получения электроэнергии от рассеянного искусственного освещения помещения. Витражи с фотоэлементами успешно могли бы быть установлены в церквях, соборах, мечетях, офисах, библиотеках или музеях. В отличие от обычного стекла, они бы обеспечили спокойный, рассеянный, несколько приглушенный комфортный световой режим. Металлические элементы каркаса так же генерировали бы электричество. Дизайн витражей основан на сенсibiliзирoванных красителем фотоэлементах. Они могут быть изготовлены из слоев полупроводниковых кристаллов, диоксида титана и красителя, который, поглощая свет, возбуждающий электроны, генерирует электрический ток. Ток подается в батарею, расположенную в подоконнике, и может быть использован потребителем для бытовых целей.

В заключении стоит отметить, что нанотехнологии открывают огромные возможности для совершенствования традиционных и внедрения в практику строительства новых конструктивных решений, направленных на увеличение энергоэффективности фасадных систем. Кроме рассмотренных выше вариантов ограждений, заслуживают внимания исследования в области использования материалов с изменяющейся прозрачностью, светoуправляющих оптических элементов, теплоотражающих стёкол, плёнок из термопластических фторполимеров и др. [12-13]. Будучи успешно использованными, в других отраслях народного хозяйства, эти направления являют собой большой потенциал для строительства.

Список библиографических ссылок

1. Жадановский Б. В., Кужин М. Ф. Организационно-технологические решения устройства навесных фасадных систем при реконструкции жилых и общественных зданий // Промышленное и гражданское строительство (ПГС). 2012. № 1. С. 62–64.
2. Забельская М. В. Фасадные системы: проблемы и их решения // Будмайстер, 2010. № 8. С. 26–29.
3. Построй свой дом // URL: <http://www.mensh.ru> (дата обращения: 15.03.2017).
4. Замороженный воздух (аэрогель) // URL: <http://www.wowworld.ru> (дата обращения: 15.03.2017).
5. Король Е. А. Эффективные ограждающие конструкции с высоким уровнем теплозащиты // Промышленное и гражданское строительство (ПГС). 2011. № 9. С. 24–25.
6. Ковалев А. В., Заморов А. А. Применение стеклопакетов с использованием аэрогеля // URL: <http://izron.ru> (дата обращения: 23.03.2017).
7. Теплоизоляция: новое поколение. Вакуумная изоляция окон и фасадов // URL: <http://fasadinfo.ua> (дата обращения: 17.02.2017).
8. Энергосберегающее стекло // URL: <http://mirokon.by> (дата обращения: 6.03.2017).
9. Гершунский Б. С. Основы электроники и микроэлектроники. Киевт : Вища школа, 2012. 423 с.
10. Фадеева Г. Д. Рентабельное использование нанотехнологий в строительных материалах // Молодой ученый. 2013. № 12. С. 187–188.
11. Elsafty A. F., Joumaa C., Abo Elazm M. M., Elharidi A. M. Case Study Analysis for Building Envelop and its Effect on Environment // Energy Procedia. 2013. № 36. P. 958–966.
12. Satu Paiho, Isabel Pinto Seppä, Christel Jimenez An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // Sustainable Cities and Society. 2015. № 15. P. 75–85.
13. Yuehong Lu, Shengwei Wang, Yang Zhao, Chengchu Yan Renewable energy system optimization of low/zero energy buildings using single-objective and multi-objective optimization methods // Energy and Buildings. 2015. № 89. P. 61–75.

Ivanova E.Y. – senior lecturer

E-mail: ivanova.e.u@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Innovative direction for designing energy efficient protections

Abstract

Problem statement. Requirements to improve the efficiency and energy saving closely related to the rational design solutions that are acceptable in the design of buildings of various construction systems. In this paper the energy-efficient design of the walls, windows and stained glass are considered. The paper analyzes the facade systems and common ways of their improving today.

Results. We offer innovative solutions, which are based on a fundamentally new approach to the use of photovoltaic cells in filling window openings and stained-glass windows, allowing them to adapt to the weather conditions. The ways of improvement of facade systems, considered the possibility of adapting nanotechnology used successfully in other industries, has proven its economic efficiency, to the specifics of the construction industry.

Conclusions. The proposed new design solutions help to increase the energy efficiency of enclosing structures.

Keywords: energy efficiency, nanotechnology, facade systems, innovative direction, constructing fences.

References

1. Zhadanovskij B. V., Kozhin M. F. Organizational and technological solutions for the installation of hinged facade systems for the reconstruction of residential and public buildings // Promyshlennoe grazhdanskoe stroitelstvo. 2012. № 1. P. 62–64.
2. Zabelskaya M. V. Facade systems: problems and solutions // Budmajster, 2010. № 8. P. 26–29.
3. Build your house // URL: <http://www.mensh.ru> (reference date: 15.03.2017).
4. Frozen air (aerogel) // URL: <http://www.wowworld.ru> (reference date: 15.03.2017).
5. Korol. E. A. Effective enclosing structures with a high level of thermal protection // Promyshlennoe grazhdanskoe stroitelstvo. 2011. № 9. P. 24–25.
6. Kovalev A. V., Zamorov A. A. Use of double-glazed windows using aerogel // URL: <http://izron.ru> (reference date: 23.03.2017).
7. Insulation: the new generation. Vacuum insulation of Windows and facades // URL: <http://fasadinfo.ua> (reference date: 17.02.2017).
8. Energy-saving glass // URL: <http://mirokon.by> (reference date: 06.03.2017).
9. Gershunskij B. S. Fundamentals of Electronics and Microelectronics. Kiev : Visha shkola, 2012. 423 p.
10. Fadeeva G. D. Cost-effective use of nanotechnology in building materials // Molodoj uchenyj, 2013. № 12. P. 187–188.
11. Elsafty A. F., Joumaa C., Abo Elazm M. M., Elharidi A. M. Case Study Analysis for Building Envelop and its Effect on Environment // Energy Procedia. 2013. № 36. P. 958–966.
12. Satu Paiho, Isabel Pinto Seppä, Christel Jimenez An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // Sustainable Cities and Society. 2015. № 15. P. 75–85.
13. Yuehong Lu, Shengwei Wang, Yang Zhao, Chengchu Yan Renewable energy system optimization of low/zero energy buildings using single-objective and multi-objective optimization methods // Energy and Buildings. 2015. № 89. P. 61–75.

УДК 72.03:725

Короткова С.Г. – кандидат архитектуры, старший преподаватель

E-mail: svetlkor@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Методика разработки доступной среды для маломобильных групп населения в эскизном проекте

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлась методика эскизного проектирования, в которой должны быть заложены все необходимые условия и параметры для МГН¹. На стадии эскизной разработки проекта, будь то общественное здание, либо жилой объект, возникает необходимость приспособления его к нуждам маломобильных групп населения.

Результаты. Основные результаты исследования доступности среды касаются всех уровней проекта, от градостроительной ситуации, до решений внутренних пространств. Полученный алгоритм формирования доступности для маломобильных групп населения учитывает пространственный контекст, в котором живет, работает и передвигается человек.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектурной науки состоит в методике обоснования принимаемого решения, что предупреждает последующие ошибки или несогласованность пространственной среды. Данная методика позволяет на эскизной стадии прогнозировать минимальное внесение специальных конструктивных изменений по формированию свободы от барьеров.

Ключевые слова: доступность среды, архитектурное пространство, свобода от барьеров, методика проектирования, универсальный дизайн.

Введение

Современные проблемы проектирования искусственной среды все в большей степени охватывают вопросы удобства пользования, комфорта, эргономичности нашего окружения. Поэтому задачи, поставленные сегодня перед проектированием, напрямую связаны с «человеческим фактором»². Охватывая все сферы трудовой, бытовой и общественной деятельности человека, архитектурная среда, опираясь на принцип гуманизации, способна выполнять реабилитационную функцию для людей с ограничениями в здоровье, учитывая их особые потребности в организации пространства. На стадии эскизной разработки проекта, будь то общественное здание, либо жилой объект, возникает необходимость приспособления его к нуждам маломобильных групп населения. Доступность среды в итоге будет касаться всех уровней проекта, от градостроительной ситуации, до решений внутренних пространств. В связи с этим, на уровне города, района, территории застройки возникает множество проблемных участков на транспортных и пешеходных зонах, рельефе местности, антропогенном ландшафте. Современные тенденции по созданию безбарьерной среды применены в работах Теряговой А.Н., Крундышева Б.Л. [1]. Они опираются на общемировые принципы доступности для инвалидов, согласно Конвенции ООН о правах инвалидов от 13 декабря 2006 г., подписанной, в том числе, и Российской Федерацией. Но имеется ли подтверждение этих обязательств в действующей в России нормативно-рекомендательной строительной базе? С одной стороны, принятые нормы: СНиП 35-01-2001 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения», Технический регламент о безопасности зданий и сооружений № 384-ФЗ, СП 59.1330.2012 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. (Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001)»; являются основополагающими

¹МГН – маломобильные группы населения.

²Под человеческим фактором понимается совокупность анатомических, физиологических, психологических и психофизиологических особенностей человека, в том числе, в те моменты, которые оказывают влияние на эффективность его жизнедеятельности в контакте с оборудованием и со средой.

документами в проектировании. С другой – сам проектный процесс ведется без обоснования того или иного решения по «безбарьерности». Существующая современная практика проектирования уделяет внимание вопросам доступной для МГН среды в тот момент, когда эскизный проект завершен, и ограничивается приспособлением уже заданных условий среды. То есть, только в процессе подготовки проектной документации в пояснительную записку описательно включается раздел «Обеспечение доступности для МГН». Приспосабливаются уклоны и ширина пешеходных путей, лестницы дублируются пандусами, прокладываются ориентиры для слепых или делаются дополнительные машиноместа на автостоянках. Но в целом архитектура остается чуждой и нечеловечной по отношению к людям с особыми потребностями. Основная стадия – эскизный проект – оставляет без внимания необходимость учета человеческого фактора и создания универсальных условий для всех пользователей.

Основные свойства безбарьерной среды

При решении проблемы гуманизации среды процесс архитектурного проектирования может опираться на принципы, сложившиеся в дизайн-проектировании. Прежде всего, определяя круг пользователей, проектный дизайн, опираясь на метод процентилей, охватывает 90 % населения, исключая крайние показатели антропометрических измерительных данных. Кроме учета антропометрических параметров в эскизном проектировании следует понимать, что существуют люди с замедленной реакцией, с нарушениями статодинамических функций, сенсорными нарушениями и пр., которые составляют примерно 41 % населения России.

Сегодня нормативные проектные документы, касающиеся безопасности зданий (384-ФЗ, 123-ФЗ), в том числе пожарной безопасности и эвакуации людей в экстренных ситуациях, приводят категории пользователей различной степени мобильности³. М1 – люди, не имеющие ограничений по мобильности, в том числе с дефектами слуха; М2 – немощные люди, мобильность которых снижена из-за старения организма (инвалиды по старости); инвалиды на протезах; инвалиды с недостатками зрения, пользующиеся белой тростью; люди с психическими отклонениями; М3 – инвалиды, использующие при движении дополнительные опоры (костыли, палки); М4 – инвалиды, передвигающиеся на креслах-колясках, приводимых в движение вручную (табл.).

Таблица

| Группы мобильности | Общие характеристики людей групп мобильности | Средняя площадь горизонтальной проекции людей, f, м ² |
|--------------------|--|--|
| М1 | Люди, не имеющие ограничений по мобильности, в том числе с дефектами слуха | 0,1 |
| М2 | Немощные люди, мобильность которых снижена из-за старения организма (инвалиды по старости); инвалиды на протезах; инвалиды с недостатками зрения, пользующиеся белой тростью; люди с психическими отклонениями | 0,2 |
| М3 | Инвалиды, использующие при движении дополнительные опоры (костыли, палки) | 0,3 |
| М4 | Инвалиды, передвигающиеся на креслах-колясках, приводимых в движение вручную | 0,96 |

Приведенные группы по мобильности относятся, в большей степени, к характеру качества пространств, участвующих в процессе эвакуации людей – горизонтальные и вертикальные участки путей эвакуации, входные группы, зоны безопасности и прочие. В соответствии с ними устанавливается необходимость в определенных площадях, ширине и длине путей движения, дополнительных выходах и коммуникациях. Таким образом, основанием для определения качественной стороны доступности являются параметры проекций тела человека каждой из категорий мобильности на горизонтальную

³СП 59.13330.2012. Доступность зданий для маломобильных групп населения (Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001). М., 2011. 58 с.

поверхность. Однако эргономические исследования в этой области говорят о том, что важно не просто определить проекцию тела человека, имеющего ограничения в здоровье, на поверхность пола, но важно учитывать само движение и его характер [2]. Положение тела и инерция от предыдущих движений обязательно повлияют на измерения. Направление движения, положения тела, из которого оно начато и которым заканчивается, – вот что обуславливает получение правдивых антропометрических данных. Поэтому нужно отдавать себе отчет в неполноте приведенных размерных характеристик. Они не могут являться достаточными при проектировании инклюзивной⁴ среды и обеспечения свободного от барьеров архитектурного пространства.

В существующих в настоящее время исследованиях количественных характеристик движения дается такое понятие, как «динамический габарит» [3]. В опубликованных работах на эту тему определение «динамический габарит» пешехода имеет два различных значения: зона, которая необходима пешеходу для движения с желаемой скоростью с точки зрения психологического комфорта и безопасности; зона, которую непосредственно занимает человек при движении. Представлено, что зона замеров в статическом положении тела здорового человека в 1,4 раза меньше динамического габарита, и в 2,7 раз – у незрячих. В исследованиях функциональных зон при формировании жилой среды для детей-инвалидов также рассмотрены коэффициенты увеличения активно используемого пространства в сравнении со здоровыми детьми [4]. Параметры увеличиваются в зависимости от характерного положения тела ребенка: 1,1 – стоя, 1,27 – сидя, 2,1 – в наклонном положении, 2 – с помощником. Исходя из этого, эскизное проектирование должно учитывать неполноту, имеющихся в нормативно-рекомендательной документации, эргономических данных, и ориентироваться на развивающуюся базу знаний о передовых методиках. В этом процессе наиболее уместным является творческий метод архитектора, а не фиксированные стандарты.

Тем не менее, в рекомендательной базе существуют определения тех направлений, по которым следует формировать доступность, основанные на практическом опыте большинства развитых стран, ратифицировавших Конвенцию ООН о правах инвалидов. В целом среда, организованная как доступная, должна обладать определенными свойствами. Основным критерием доступности для общественных зданий и сооружений является беспрепятственный доступ к месту получения услуги, месту проживания или месту приложения труда, то есть досягаемость. Также СНиП 35-01-2001 обязывает принимать во внимание такие критерии как безопасность, информативность и комфортность. Под всеми этими критериями подразумевается архитектурная среда, учитывающая, в какой доступности от основных путей движения расположен объект, какие визуальные связи имеет объект с территорией, наличие мест для отдыха вдоль пешеходных маршрутов, возможность сезонного использования объекта без барьеров для инвалидов и многое другое. К сожалению, формальный подход на основании компиляции нормативов не обеспечивает проектные решения таким качеством, как универсальность среды. Зачастую проект является ассистивным, то есть предусматривающим даже на стадии эскизирования применение специальных устройств, необходимых для инвалидов. Другой подход заключается в универсальном проектировании, когда максимальная степень пригодности к пользованию всеми людьми, включая маломобильных, достигается без адаптации или специального дизайна. Например, наличие пандуса при входном узле станет необязательным, если не будет перепада между улицей и внутренним помещением. Специализированные (ассистивные) устройства, будь то пандус, тактильная плитка или полосы ориентации для незрячих, должны быть заложены в проект разумно, там, где это необходимо [5]. Руководствуясь девизом «больше – не значит лучше», проектное мышление закладывает все необходимые условия и параметры, которые продиктованы особенностями восприятия окружающей среды и эргономическими требованиями для людей с ограничениями здоровья в эскизном проекте.

⁴Инклюзивность (лат. *inclusivus* – включительный) – равные условия совместной доступности людей без инвалидности и маломобильных групп населения к зданиям и сооружениям, культурным и образовательным программам и т. д.

Алгоритм формирования доступности в эскизном проектировании

В связи с вышеизложенным, следует весь проектный процесс, начиная со стадии идеи, соподчинить определенному алгоритму проектного исследования (рис. 1).

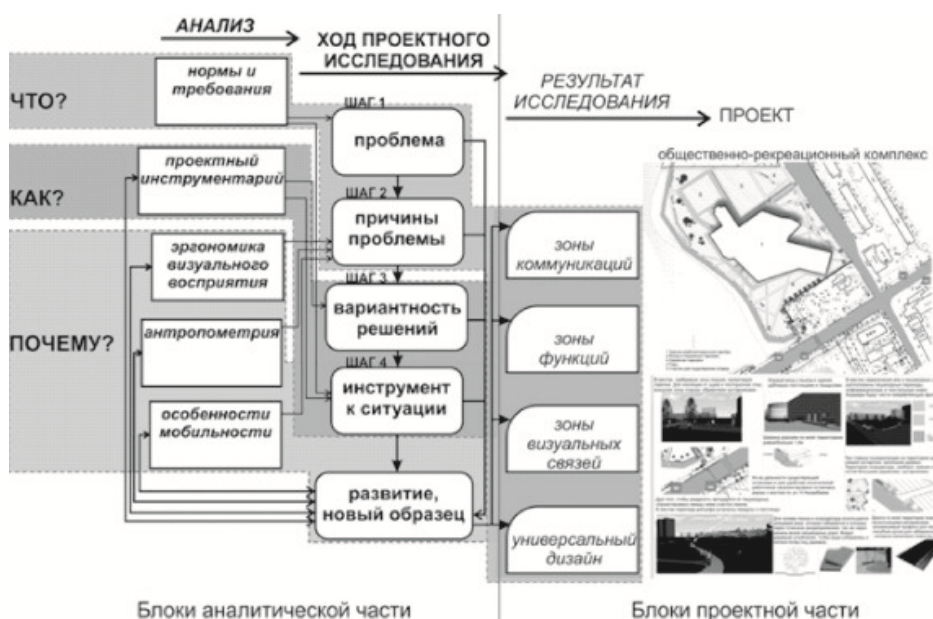


Рис. 1. Алгоритм формирования доступности в эскизном проектировании

1. Постановка проблемы и анализ её причины.

Так как любое проектное мышление начинается с аналитической работы исходных данных, то и в случае формирования доступности следует обозначить решаемую проблему и условия, при которых возможно жить, работать и передвигаться людям с особыми потребностями в организации пространства. Такие особые потребности предполагают, что изначально для формирования идеи должны быть иные исходные данные по антропометрии, особенностям зрительного восприятия, возможностям внимания и реакции пользователей проектных решений [6]. Разные категории инвалидов имеют свои специфические потребности в плане приспособления окружающей среды. К основным видам нарушений физических функций организма человека, которые учитываются в проектировании, относятся:

- нарушения сенсорных функций (зрения, слуха, обоняния, осязания, тактильной, болевой, температурной и других видов чувствительности);
- нарушения статодинамических функций (двигательных функций головы, туловища, конечностей, статики, координации движений);
- нарушения, обусловленные физическим уродством (из них – деформации туловища, конечностей, приводящие к внешнему уродству, отсутствие конечностей, нарушения размеров тела).

Соответственно, имеются способы обеспечить условия для компенсации этих ограничений жизнедеятельности. Во-первых, инвалиды с поражением опорно-двигательного аппарата по своим антропометрическим и эргономическим признакам существенно отличаются от здоровых людей. Они испытывают затруднения в передвижении, движении по сложному маршруту и в затесненном пространстве, в преодолении различных препятствий в виде лестниц, порогов и т.д. Для них должны быть изменены параметры проходов и проездов, уклоны профиля пути, качество поверхности путей передвижения, оборудование городской среды для обеспечения информацией, общественным обслуживанием и пр. Во-вторых, незрячие люди, у которых не нарушено антропометрическое строение организма, пользуются тростью, увеличивающей габариты обычных людей, поэтому для них должны быть изменены параметры и поверхность путей передвижения. Кроме того, эти инвалиды испытывают затруднения в передвижении и ориентации. Для них особое значение приобретает при проектировании

система дополнительных ориентиров: контрастных сочетаний цвета и фактуры, материалов, звуковых сигналов, специальных направляющих и предупреждающих устройств, рельефных и силуэтных таблиц и указателей. В-третьих, инвалиды с дефектами слуха по своим антропометрическим характеристикам близки к здоровым людям и не требуют внесения корректив в основные параметры. Но для более уверенного их передвижения должна быть обеспечена хорошо различимая визуальная информация, ориентиры в рекреационных зонах и созданы специальные элементы городской среды.

Однако, характер затруднений, которые испытывает человек с нарушениями в здоровье, имеет большой диапазон. Так люди с диагнозом ДЦП, синдромом Дауна, либо пожилые люди имеют множественные нарушения. Например, медики показывают, что детский церебральный паралич, чаще всего сопровождается и задержкой умственного развития, и болезнями зрения, и болезнями внутренних органов. Некоторые пожилые люди, кроме болезней опорно-двигательного аппарата, органов зрения и слуха, могут страдать болезнью Альцгеймера, частичными расстройствами памяти и т.д. [7].

2. Поиск вариантов решения проблемы (инструментарий).

После определения проблемных моментов в эскиз-проекте выявляются участки и пространственные зоны, требующие конкретных мероприятий по решению доступности. Импульсом к процессу проектирования без барьеров на участке застройки могут служить: перепад высотных отметок, расстояния до входных зон, сложность и ширина путей передвижения, сложные условия восприятия объекта и т.д. Далее, используя мировой опыт, для решения проблемной ситуации, происходит поиск аналогов или проектных инструментов. Например, набор различных видов поверхностей с их оценкой относительно свободы от барьеров поможет выявить ровные и нескользящие поверхности, тактильные и цветовые контрасты покрытий, поверхности с хорошим стоком воды. Позднее это поможет сделать правильный подбор материалов для пешеходных путей в результате прогнозирования и выбора набора средств и приемов доступности [8].

3. Следующий этап – это развитие собственной идеи, проектного эскиза и получение нового образца решения. Для осуществления этой стадии появляется необходимость в разработке универсальных решений для конкретной ситуации. Применение принципов универсального дизайн-проектирования является необходимым условием для расширения арсенала проектных моделей. По определению, универсальный дизайн – это отношение к проектированию, которое основывается на развивающейся базе знаний о передовых методиках, а не фиксированных стандартах.

1. Равенство в использовании людьми с разными физическими возможностями.

2. Гибкость в применении, т.е. проект должен соответствовать множеству разнообразных индивидуальных предпочтений и способностей (например, левшей или людей с замедленной скоростью реакции).



Рис. 2. Интуитивно понятная система навигации

3. Простая и интуитивная доступность любому пользователю, независимо от опыта, знаний, языковых навыков и уровня концентрации в данный момент. В качестве примера интуитивно понятного проектного решения детской площадки представим наглядную и прослеживаемую систему входов, дорожек и расположения отдельных игровых зон: чтобы вход на площадку и выход с неё совершался сознательно, применяются подвижные элементы с акустическим сигналом; для слепых и слабовидящих детей тактильный план при входе повторяется элементами на отдельных игровых модулях, являясь в совокупности с разным характером покрытий, единой направляющей системой (рис. 2).

4. Легко воспринимаемая информация, независимо от условий окружающей среды и особенностей восприятия самого пользователя, эффективные подсказки. Информация должна представляться максимально понятно и многократно по-разному: визуально, тактильно, вербально. Этот принцип демонстрируют решения, с задействованием двух органов чувств. Особое значение это имеет для людей, имеющих сенсорные нарушения: при недостаточной активности визуальной информации, используется тактильное чувство и обоняние.

5. Право на ошибку. Человеку свойственно совершать ошибки. При организации любой среды, необходимо свести к минимуму опасность или негативные последствия случайных или непреднамеренных действий.

6. Минимальное физическое усилие, когда потребитель должен максимально эффективно и комфортно пользоваться окружающей средой.

7. Габариты и конфигурация. Пространства должны быть удобны для подхода, доступа, манипуляций и использования любым человеком, не зависимо от его роста, фигуры или степени подвижности.

Изложенные принципы позволяют мыслить вне рамок стандартных решений среды и стереотипных элементов. В этом случае на стадии эскиза проектный процесс формирует новые подходы к организации пространства, равного для интуитивного использования всеми людьми.

Выводы по апробации методики разработки доступной среды

Приведенная методика позволяет удовлетворять и требования доступности для МГН нормативно рекомендательных документов, исключая формализацию проектного решения. Выполнение соответствующего раздела выпускной квалификационной работы студентов по направлению «Архитектура» Института архитектуры и дизайна КГАСУ, основанное на приведенном алгоритме, включало разработку доступности на участках застройки. Вместе с тем, как происходили изменения характера проектной проблемы, принимались нестандартные тактики решения проектных задач, формировалось развитие проблемно-ориентированного мышления архитектора.

Результаты разработок по развитию территории застройки и пространственных свойств объектов проектирования в условиях проектирования с учетом доступности для всех охватывают такие аспекты, как: зоны коммуникаций, зоны функций, зоны визуальных связей и универсальный дизайн (рис. 3). Зоны коммуникаций учитывают их разнообразие, уклоны горизонтальных путей, расположение промежуточных зон остановок и отдыха, визуальный контакт с важными зонами, системы ориентирования в местах пересечения путей, защиту от неблагоприятных погодных условий. Выделение цокольных элементов, фасадных линий, ограждающих элементов растительных композиций представляют собой естественные направляющие движения. В зонах функций, прежде всего, учитывается возможность для любого человека получить требуемую услугу: торговля, обслуживание, культурное мероприятие, общение и пр. Сопутствующие функции демонстрируются изменением в навигационной системе, например, в виде размещения фасадных ориентиров или наличия объектов, стимулирующих органы чувств (растения, водоемы, арт-объекты). Метод задействования двух органов чувств выражен в оптически и тактильно контрастных обозначениях мест пребывания. Зоны визуальных связей формируются с учетом особенностей зрительного восприятия. Зона видимости, которую воспринимают люди с высоты кресла-коляски, значительно влияет на оптимальную высоту размещения информации, составляя 0,9-1,35 м по вертикали, а тактильная информация, предназначенная для незрячих – 1,15-1,65 м. В проектировании визуальной среды следует учитывать, общие для всех людей, психофизиологические факторы восприятия, исключая, так называемые, гомогенные и агрессивные визуальные поля, создающие противоестественное видимое окружение.



Рис. 3. Разработка элементов универсального дизайна

Руководствуясь принципами универсального дизайна, эскизное проектирование насыщается элементами, воздействующими на двенадцать органов чувств, согласно Альберту Соеману, доступных человеку [9]. В их числе – чувство осязания, чувство равновесия, чувство обоняния, чувство тепла, чувство слуха и т.д. Примерами средств акустического ориентирования могут быть фонтаны, водоемы с журчащей водой, обонятельного ориентирования – фитокомпоненты – цветы и растения без ядовитых плодов или колочек. Современные пространственные компоненты общественных рекреаций в виде атриумов, оранжерей, панорамных элементов остекления предоставляют широкие возможности использования их в системе навигации, используя чувства кожных рецепторов.

Заключение

В аналитической части, когда изучаются исходные данные доступности, официальные нормирующие документы влияют лишь на постановку проблемы, то есть определяют, что регламентируют нормы. В целом, это – подготовка территории относительно движения пешеходов, строительные элементы и оборудование. Проектный инструментарий при анализе аналоговых решений помогает обобщить их множество и ответить на вопрос: как решить? Эргономика визуального восприятия позволяет решить проблемы визуальной среды, связанные с возможностью интуитивного ориентирования, чему обычно способствуют хорошо просматриваемые функциональные зоны, качество подачи информации и правильное освещение. Притом последнее влияет не только на ориентирование, но и на социальную безопасность. Хорошему пространственному ориентированию способствует равномерная минимальная освещенность с учетом того, чтобы на расстоянии около 4 м можно было бы увидеть выражение лица других людей, и как они себя ведут.

В результате анализа визуальной среды, антропометрии и особенностей мобильности людей, проектирование получает возможность ответить на вопрос: почему так? Обоснование принимаемого решения предупреждает последующие ошибки или несогласованность пространственной среды. Поэтому следует на эскизной стадии прогнозировать минимальное внесение специальных конструктивных изменений по формированию свободы от барьеров, главным принципом которого становится «самоопределение взамен попечения».

Список библиографических ссылок

1. Крундышев Б. Л. Основные направления в формировании жилого района, доступного маломобильным группам населения // Архитектура и современные информационные технологии: эл. журнал. 2014. № 4 (29). URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2014/4kvart14/krundishev/abstract.php> (дата обращения: 01.04.2017).
2. Рунге В. Ф., Манусевич М. Ю. Эргономика в дизайне среды. М. : Архитектура-С, 2005. 160 с.
3. Самошин Д. А., Слюсарев С. В. К вопросу о статических и динамических габаритах пешеходов различных групп мобильности // Вестник МГСУ. 2016. № 4. С. 84–93.
4. Короткова С. Г. Эргономический подход в архитектурном проектировании // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 113–119.
5. Berlin – Design for all // Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin : Führung. 2012. URL: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/barrierefreies_bauen/download/handbuch/BarrierefreiesBauen2012.pdf (дата обращения: 09.04.2017).
6. Леонтьева Е. Г. Доступная среда и универсальный дизайн глазами инвалида. М. : Татлин, 2013. 128 с.
7. Oldman J. Housing Choice for Older People: a discussion paper. London : Help the Aged, 2006. 64 p.
8. Lacey A. Designing for Accessibility. London : RIBA, 2004. 70 p.
9. Соесман А. Двенадцать чувств: Врата души. Введение в антропософию. СПб. : Деметра, 2003. 254 с.
10. Янковская Ю. С., Полянцева Е. Р. Пространства ограниченного доступа: некоторые аспекты архитектурной типологии // АМТ. 2016. № 4 (37). С. 116–126.

Korotkova S.G. – candidate of architecture, senior lecturer

E-mail: svetlkor@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Methodology for developing an accessible environment for disabled people in outline project

Abstract

Problem statement. The aim of the work was a sketch design technique in which all the necessary conditions and parameters for disabled people should be laid. At the stage of preliminary design of the project for a public building or an apartment building there is a need to adapt it to the needs of handicapped people.

Results. The main results of the study of the environment accessibility concern all levels of the project, from the urban planning situation, to the interiors. The obtained algorithm of accessibility for handicapped people takes into account the spatial context in which a person lives, works and moves.

Conclusions. The significance of the results obtained for the architectural science consists in the method of justifying the decision and in preventing subsequent errors or inconsistencies in the spatial environment. This methodology allows to forecast the minimal introduction of special constructive changes in the formation of freedom from barriers at the outline project.

Keywords: accessibility of the environment, architectural space, freedom from barriers, design methodology, universal design.

References

1. Krundyshev B. L. The main directions in the formation of a residential area accessible to low-mobility groups of the population // *Arhitectura i sovremennye informacionnye tehnologii*: el. journal. 2014. № 4 (29). URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2014/4kvart14/krundishev/abstract.php> (reference date: 01.04.2017).
2. Runge V. F., Manusevich M. Yu. Ergonomics in the design of the environment. M. : *Arhitectura-S*, 2005. 160 p.
3. Samoshin D. A., Slyusarev S. V. To the question of the static and dynamic dimensions of pedestrians of various mobility groups // *Vestnik MGSU*. 2016. № 4. P. 84–93.
4. Korotkova S. G. Ergonomic approach in architectural design // *Izvestiya KGASU*. 2015. № 4 (34). P. 113–119.
5. Berlin – Design for all // *Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin : Führung*. 2012. URL: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/barrierefreies_bauen/download/handbuch/BarrierefreiesBauen2012.pdf (reference date: 09.04.2017).
6. Leontyeva E. A. Accessible environment and universal design through the eyes of a disabled person. M. : *Tatlin*, 2013. 128 p.
7. Oldman J. Housing Choice for Older People: a discussion paper. London : *Help the Aged*, 2006. 64 p.
8. Lacey A. *Designing for Accessibility*. London : *RIBA*, 2004. 70 p.
9. Soesman A. *Twelve feelings: the gate of the soul. Introduction to Anthroposophy*. SPb. : *Demetra*, 2003. 254 p.
10. Yankovskaya Yu. S., Polyantseva E. R. Spaces of limited access: some aspects of architectural typology // *AMIT*. 2016. № 4 (37). P. 116–126.

УДК 74.01/.09

Михайлов С.М. – доктор искусствоведения, кандидат архитектуры, профессор

E-mail: souzd@mail.ru

Филимонова Ю.М. – студент

E-mail: filimonova-00@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Гендерные метафоры в архитектурной среде современного города

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить тенденции проявления гендерных метафор в архитектурной среде современного города.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выявлении современных тенденций проявления гендерных метафор в архитектурной среде города: расширение смыслового поля феминного гендера – активность, многозадачность, самостоятельность интерпретируются как феминные характеристики; художественные образы крупных архитектурных ансамблей часто обращаются к андрогинным метафорам; происходит взаимодействие гендерных метафор различных временных эпох. Значимым результатом исследования стало введение классификаций гендерных метафор по содержанию (феминные, маскулинные, андрогинные) и выразительным средствам (пластические метафоры, метафоры «объект-символ», психологические и социальные метафоры).

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что выявленные тенденции могут служить ориентиром при определении актуальности используемых в архитектурном проекте гендерных метафор и соответствия их содержания требованиям современной социокультурной ситуации. Предложенные авторами классификации гендерных метафор вносят вклад в формирование гендерного подхода в архитектуре, упрощают использование гендерных метафор как особого выразительного средства при проектировании архитектурной среды.

Ключевые слова: гендер, гендерная метафора, виды гендерных метафор, архитектура, архитектурная среда, современный город, постиндустриальное общество.

Современная архитектурная среда города является отражением социального устройства и технических возможностей общества, уровня и особенностей развития его культуры. Архитектурная среда города становится полем социального взаимодействия, которое отражает и фиксирует в себе нормы поведения, в том числе и гендерные проявления. Современные исследователи архитектуры обращают внимание на широкое распространение проектного подхода, основанного на метафорах, которые выступают средством создания новых культурных и социальных идентичностей [1]. В данных условиях гендерные метафоры на уровне архитектурного объекта являются мощным выразительным средством и фактором, влияющим на гендерные установки определенного общества в течение значительного времени. Трансформация гендерных установок на современном этапе развития общества требует внимательного и чуткого отношения к элементам, фиксирующим их проявления в городской среде. Это создает предпосылки для изучения феномена гендерной метафоры в архитектуре, ее видов, а также современных тенденций использования в архитектурной среде города.

Понятие гендерной метафоры

Гендерные установки представляют совокупность представлений о феминном и маскулинном, как базовых онтологических категориях. Помимо человека, они транслируются и на внеполовые структуры – архитектурные объекты, городское пространство и его предметное наполнение, которые могут восприниматься зрителем как феминные и маскулинные. В таком случае мы можем говорить о гендерных метафорах в архитектурной среде города. Как отмечают современные исследователи, гендерная метафора – перенос характеристик, присущих категориям феминного и маскулинного на объекты, не связанные с полом [2].

Гендерные установки на уровне архитектурного ансамбля, зачастую, закладываются уже на самых ранних стадиях проектной работы, при первоначальном формировании его художественного образа, характера общей композиции и стилистики, с детализацией всех этих позиций в последующем решении узлов и деталей. При этом на обращение к тем или иным гендерным установкам оказывает влияние целый ряд факторов. Среди них ценностные ориентиры, господствующие в обществе на данный момент, эстетические идеалы (мода), региональные особенности, традиции и предпочтения, позиция и воля заказчика проекта, авторский стиль, манера и художественный замысел [3]. Следует учитывать, что считывание гендерных метафор может быть различным и зависит также от множества факторов: гендерных установок воспринимающего, его культурного багажа, социального статуса, вида деятельности и эмоционального состояния. Как показывают исследования, все это во многом определяет различия между первичным и вторичным художественным образом архитектурного произведения.

Виды гендерных метафор в истории архитектуры

В процессе исследования мы классифицировали виды гендерных метафор в архитектуре по их содержанию и выразительным средствам.

Виды гендерных метафор по содержанию

В современной архитектурной среде города можно выделить следующие виды гендерных метафор по содержанию: феминные, маскулинные, андрогинные.

Феминная гендерная метафора. Феминные гендерные метафоры используют весь багаж накопленных культурой ассоциаций к категории «женственное». Они могут использовать пластические, психологические и социальные характеристики феминного, а также вещи и предметы, использование которых закреплено в культуре за женщиной. Чаще всего данные метафоры используются для решения художественного образа локальных архитектурных объектов и жилой среды. Примером феминной гендерной метафоры может служить художественный образ, воплощенный Хундертвассером в здании придорожного ресторана в Бад-Фишау (Австрия).

Маскулинная гендерная метафора. Маскулинные гендерные метафоры обращаются к пластическим, психологическим и социальным характеристикам категории мужественное, свойственной для определенной культуры. Чаще используются для решения деловых, административных зданий и промышленной среды. Примером маскулинной гендерной метафоры может служить образ Штаб-квартиры Центрального телевидения в Пекине (КНР, архитекторы Рем Колхас и Оле Шерен).

Андрогинная гендерная метафора. Андрогинные гендерные метафоры оперируют характеристиками и феминного, и маскулинного. Андрогинные гендерные метафоры в большинстве случаев описывают более сложные объекты и выражают характер взаимоотношений между феминным и маскулинным. Их использование можно наблюдать в решении крупных современных архитектурных ансамблей. Примером андрогинной гендерной метафоры может служить образ комплекса Беко в Сербии (архитектор Заха Хадид).

Гендерные метафоры по выразительным средствам

Гендерные метафоры в процессе исследования делились на две крупные группы: сюжетные и абстрактные.

Сюжетные гендерные метафоры. Сюжетные гендерные метафоры используют для обозначения гендера элементы, имеющие собственное визуальное выражение (рис. 1). К сюжетным гендерным метафорам относятся пластическая метафора и метафора «объект-символ». Первые используют ассоциации феминного и маскулинного с определенными формальными характеристиками, часто связанными с телесным выражением – плавный, прямой, мягкий, жесткий, вертикаль, горизонталь, квадрат, круг.

Маскулинные пластические метафоры обращаются к жесткой геометрии, преобладанию вертикалей, прямоугольным и правильным треугольным формам для кодирования гендера. Часто маскулинные пластические метафоры используются при решении художественного образа промышленных и административных зданий, в

частности, небоскребов. В меньшей степени данные метафоры представлены в жилой среде. Интересным примером пластических метафор маскулинного гендера в жилой среде могут служить Кубические дома в Роттердаме (Нидерланды, архитектор Пит Блом). Три жилых этажа здания выполнены в виде куба, который воздвигнут на постамент-пилоны административного этажа. Жилая часть дома насажена ребром на вытянутое шестиугольное основание. В данном случае, маскулинная гендерная метафора не была объектом сознательного проектирования, а стала результатом геометричного характера решения другого образа. По задумке архитектора, треугольная вершина каждого отдельного дома должна представлять абстрактное дерево, которое при соединении со соседним домом, воспринимается как осенний лес [4]. Вместе с тем, акцентирование прямоугольной геометрии объемов за счет их нестандартного расположения и выявление вертикалей с помощью пилонов создают устойчивые ассоциации с маскулинным гендером.



Рис. 1 Сюжетные гендерные метафоры

Для феминных пластических метафор характерно обращение к криволинейным формам, форме круга, дуги, а также неправильного треугольника. Данные метафоры часто используются в архитектуре жилой среды, а также для решения образов торговых объектов. Примером феминной гендерной метафоры при решении образа здания торгового центра является Кривой домик в Сопоте (Польша, архитектор Яцек Карновски). Этот объект не имеет правильных форм и прямых углов, его пластика ассоциируется с волнообразным движением океанских вод. Криволинейность формы, плавный характер ее изменения создают устойчивые ассоциации с феминным гендером.

Андрогинные пластические метафоры могут сочетать контрастные пластические характеристики маскулинного и феминного, которые сосуществуют в различных пропорциях в образе архитектурного произведения. Андрогинные пластические гендерные метафоры можно рассмотреть на примере Железнодорожного вокзала «Express Rail Link West Kowloon Terminus» в Гонконге. Как крупный современный комплекс, Железнодорожный вокзал Гонконга представляет собой вариант архитектурной среды с ярко выявленными феминными и маскулинными характеристиками. Проект был разработан Эндрю Бромбергом (Andrew Bromberg) из международной архитектурной студии «Aedas-AECOM» [5]. Общий вид комплекса на 3д-модели позволяет выделить в нем два крупных контрастных по своему пластическому решению элемента – группу небоскребов и структуру терминала, которые соединяются через систему террас. В данном комплексе пластичность, текучесть, горизонталь – вызывают ассоциации с феминным и сконцентрированы в структуре терминала. Группа небоскребов через пластику вертикали, стремление формы к прямоугольной – ассоциируются с маскулинным гендером.

Динамичность, изгиб поверхности, диагональ, изменение угла наклона линии – используется как пластические свойства, объединяющее феминное и маскулинное.

Гендерные метафоры типа «объект-символ» работают через ассоциации отдельных объектов с феминным, маскулинным или с их отношениями. Данный вид гендерных метафор имеет наиболее сильные связи с материальной культурой общества и, как следствие, большее разнообразие региональных особенностей.

Феминные метафоры «объект-символ» используют для обозначения гендера образы отдельных предметов, которые ассоциируются с женственным образом. Примерами таких объектов-символов феминного являются образы цветов, украшений, птиц, ткани, платьев. Бутик Christian Dior Flagship в Сеуле – случай, когда гендерные метафоры становятся объектом внимания архитектора и служат для выражения ценностей бренда и контакта с целевой аудиторией (архитектор Christian de Portzamparc, дизайнер Peter Marino). Как говорит Кристиан де Портзампарк об этом проекте: «Я хотел, чтобы образ здания отражал ценности Dior и особенности творческого подхода Кристиана Диора. Так что я позволил поверхности течь, как мягкие, белые хлопчатобумажные ткани кутюрье» [6]. В данном случае ткань используется как феминная метафора «объект-символ», которая порождает множество смысловых ассоциаций – легкость, изысканность, текучесть. Интересным представляется подход и к образу интерьерного пространства – наземные этажи посвящены женской моде, коллекции одежды представлены на фоне белых стен. Интерьер подземного этажа, посвященного мужской моде, выдержан в черном цвете, что усиливает чувство элитарности. Кристиан де Портзампарк и Питер Марино соединили атмосферу женственности и красоты знакового бутика Диор на авеню Монтель в Париже и современную эстетику, обеспечивая трансляцию таких ценностей бренда как вневременная элегантность и изысканное внимание к деталям [6].



Рис. 2 Абстрактные гендерные метафоры

Маскулинные метафоры «объект-символ» используют для обозначения гендера образы отдельных предметов, которые ассоциируются с мужественным. Маскулинный гендер в архитектуре раскрывается через такие объекты-символы как образы механизмов, кристаллов, различных инженерных структур. Использование таких кристаллических и инженерных структур как «объектов-символов» маскулинного гендера наиболее часто встречается при решении деловых зданий, в частности, небоскребов. Ярким примером является небоскреб The Vow, построенный Норманом Фостером в Калгари. Маскулинная метафора «объект-символ» реализуется через выявление четкой логической структуры фасада. Фасады небоскреба остеклены и словно оплетены стальной решеткой с ячейками

треугольной формы. Каждый такой треугольник имеет высоту 6 этажей, а составленные по четыре, они образуют гигантские ромбы, что позволяет визуально изменить пропорции здания и сделать его еще более выразительной высотной доминантой в панораме города.

Абстрактные гендерные метафоры используют ассоциации со свойствами феминного и маскулинного, которые не имеют собственного визуального выражения (рис. 2). Существуют следующие виды абстрактных гендерных метафор: социальная и психологическая.

Социальные гендерные метафоры. Социальные гендерные метафоры описывают категории феминное и маскулинное в контексте реализуемых женщинами и мужчинами социальных ролей. Социальные гендерные метафоры часто имеют указание на возраст, обладание властью, характер отношений с другими, социальную дистанцию и эмоциональную окраску используемого образа.

Маскулинные социальные метафоры описывают категорию маскулинное через социальные роли, которые исполняются мужчинами в определенном обществе. Примерами маскулинных социальных метафор могут служить – отец, сын, солдат, царь, вождь. Маскулинные социальные метафоры наиболее часто встречаются в художественном образе административных общественных зданий. Архитектурный ансамбль становится воплощением идей своей эпохи, отражением социально-экономического и культурно-политического уклада общества. Так эпоха абсолютизма в условиях централизованной монархии привела к появлению огромных, выполненных по единому плану городских и дворцовых ансамблей. Архитектурные ансамбли эпохи абсолютизма нашли впечатляющее воплощение в художественном стиле классицизма: разумной ясности, строгой гармонии, простоты и соразмерности, спокойного и сдержанного величия. Произведения эпохи абсолютизма были призваны не только воплотить идею могущества всевластного самодержца, но и могущество человеческого разума, преобразующую силу творческой воли [7]. Идеал и гендерная метафора классицизма – просвещенный монарх.

Феминные социальные метафоры описывают категорию феминное через социальные роли, которые исполняются женщинами в определенном обществе. В качестве примеров социальных метафор феминного можно привести следующие – мать, дочь, мадонна, королева. Феминные социальные метафоры чаще находят выражение в жилой среде, хотя история архитектуры знает целые эпохи, когда они использовались для решения королевских резиденций и религиозных объектов.

В отличие от ансамблей классицизма, обращавшихся преимущественно к маскулинным гендерным метафорам, храмы эпохи рококо более «женственны». Архитектура рококо легка и деликатна, она отказывается от прямых линий и придерживается сложности плана, композиция которого строится на основе сопряжения овалов и кругов. Феминный характер метафор в архитектуре рококо воплощается через волнообразное пространство, текучесть линий, плавающие и зависающие поверхности, дематериализация массы и синтез с другими видами искусств (живопись, скульптура, музыка) [8].

Андрогинные социальные метафоры описывают взаимодействие категорий феминное и маскулинное. Социальные метафоры андрогинного характера – семья, взаимодействие, поддержка, любовь. Примером может служить художественный образ Дворца бракосочетаний «Дворец счастья» в Ашхабаде (Bagt köşgi, Туркменистан, Полимекс). Первые пять этажей здания имеют форму вращающейся туркменской звезды, а остальные пять этажей в виде сферы, опирающейся на эту туркменскую звезду и окружены пятью другими звездами Туркменистана [9]. Стеклопанельная сфера, ассоциативно связана с планетой Земля, домом, драгоценностью, душой и феминным гендером. Геометрический характер первых пяти этажей и защищающего сферу куба, образованного звездами Туркменистана ассоциируется, с твердой опорой, четким планом, божественным замыслом и маскулиным гендером. Так, в художественном образе Дворца бракосочетания подчеркивается роль мужчины как надежного основания семьи и женщины, как ее драгоценности и смысла.

Психологические гендерные метафоры. Психологическая гендерная метафора наделяет архитектурный объект душевными (психологическими) качествами, которые

воспринимаются как феминные и/или маскулинные – забота, равнодушие, властность, дипломатичность, склонность к риску.

Феминные психологические метафоры используют для обозначения гендера психологические качества, которые ассоциируются с «женственным». Феминные психологические метафоры оперируют такими характеристиками как: мягкость, дипломатичность, отзывчивость, эмпатия, эмоциональность, сочувствие. Феминные психологические метафоры могут использоваться в общественных пространствах, предназначенных для тихого отдыха, объектах здравоохранения и социальных учреждениях, для которых важными являются вопросы взаимодействия людей. Примером может служить Гималайский центр в Шанхае (архитектор Арата Исодзаки) – феминная психологическая метафора раскрывается через ассоциации дипломатичностью, используется нейтральная светлая цветовая гамма, плавные формы, фасад решается в стиле биоморфизм.

Маскулинные психологические метафоры используют для обозначения гендера психологические качества, которые ассоциируются с «мужественным». Маскулинные психологические метафоры используют такие характеристики как: конкуренция, активность, жесткость, риск, которые становятся основой для абстрактной геометрической композиции. Маскулинные психологические метафоры часто используются в производственной среде, общественных пространствах, предназначенных для активного отдыха, спортивных объектах и деловых учреждениях. Примером может служить архитектурный ансамбль в районе Defance (Париж) – маскулинные психологические метафоры раскрываются через ассоциации с конкуренцией, деловым миром, используется холодная, контрастная, сдержанная цветовая гамма, жесткие ритмы.

Андрогинные психологические метафоры часто используются при проектировании парков, сочетающих в себе возможности как тихого, так и активного отдыха. Примеры включения психологических гендерных метафор в структуру ансамбля мы находим в парке в Нерребро (Копенгаген). Решение гендерной метафоры феминного – изображения дипломатичности, множественности, контакта с окружением – достигается минимальными графическими средствами – плавные тонкие линии расчлняют поверхность асфальтового покрытия подобно силовым линиям магнитного поля, обтекают зеленые островки и места для сидения. Другая зона данного парка, предназначенная для активного отдыха, несет в себе такие психологические качества как динамичность, общительность, рискованность и ассоциируется с маскулинным гендером, который реализуется за счет использования оттенков красного и динамичного рубленного ритма. Комбинированный вид гендерных метафор может использовать средства и абстрактных и конкретных гендерных метафор в их различных сочетаниях.

Современные тенденции проявления гендерных метафор в архитектурной среде города

Одной из современных тенденций проявления гендерных метафор в архитектурной среде является трансформация категорий феминное и маскулинные.

Новое понимание феминного и отношений между феминным и маскулинным

Для постиндустриального общества характерно размывание границ между «мужественным» и «женственным», изменение классических европейских представлений о социокультурной сущности данных категорий [10]. В гендерной психологии часто обращают внимание на конфликт между патриархатным и современным содержанием категории феминное. Современное поле значений категории феминное включает в себя такие характеристики как: активность, динамичность, многозадачность, уверенность, самостоятельность, иррациональность [11]. Патриархатное содержание конструкта феминности связано с такими характеристиками как второстепенность, зависимость, слабость, неуверенность, пассивность, поиск внешней опоры [11]. Яркий пример феминных гендерных метафор патриархатной культуры представляют собой архитектурные ансамбли эпохи рококо.

Тяготение крупных архитектурных ансамблей к андрогинности.

Другой значимой тенденцией является тяготение крупных архитектурных ансамблей к андрогинности. Глобальный вектор гендерной трансформации означает не стирание

различий между маскулинным и феминным, но отказ от гендерной иерархии и имеющихся отношений власти и подчинения. Это определяет появление андрогинных архитектурных метафор, которые следуют идее динамичного равновесия феминного и маскулинного в сложном объекте. Современные средства параметрического моделирования открывают новые возможности для экспериментальных поисков в данном направлении.

Различие социальной и гендерной структуры, культурного наследия, экономической модели определяет своеобразие региональной архитектуры в современных городах. Усиление регионального компонента в архитектуре в значительной степени влияет на степень проявления гендерных метафор. Традиции отражения баланса маскулинного и феминного (Инь и Ян) в архитектурно-природных ансамблях существуют во многих культурах стран Азии, что определяет значительный объем сложных андрогинных гендерных метафор в их архитектурной среде. Кроме того, традиции, ценностные установки, особенности менталитета в значительной степени влияют на восприятие гендерных метафор в архитектурной среде.

Взаимодействие гендерных метафор различных временных эпох

Особенностью современной архитектурной среды является взаимодействие в ней гендерных метафор различных временных эпох. В архитектурной среде современного города, имеющего более чем вековую историю, взаимодействуют гендерные метафоры различных временных эпох и различного социального устройства. Следует учитывать, что они являлись не объектом специального проектирования, а отражением социальной структуры общества определенной эпохи, его ценностей и гендерной модели, которые транслируют доступными им выразительными средствами.

В современном городе можно выделить три слоя гендерных метафор по принципу сгенерировавшей их гендерной модели.

Первый слой – исторический (вплоть до середины 19 века), является отражением патриархатной гендерной модели, которая немыслима без иерархичной организации и главенствующей роли маскулинного гендера.

Второй слой – модернистский (20 век) – сознательное избегание вопросов пола, принцип равенства и подотчетности государству, служение высшей цели.

Модернистская архитектура вырабатывает собственную эстетику, масштаб.

Третий слой – наиболее современный (конец 20-начало 21 века) – признание различий и равноценности феминного и маскулинного, отсутствие жесткой привязки к полу и нормативности гендера, трансформация категории феминное, сближение гендеров.

Заключение

В результате исследования выявлены тенденции проявления гендерных метафор в архитектуре современного города в условиях постиндустриального общества: новое понимание феминного, через ассоциации с такими качествами как активность, многозадачность, самостоятельность; тяготение крупных архитектурных ансамблей к андрогинности; взаимодействие гендерных метафор различных временных эпох. Выявленные тенденции могут служить ориентиром при определении актуальности используемых в архитектурном проекте гендерных метафор и соответствия их содержания требованиям современной социокультурной ситуации.

В результате исследования предложен ряд классификаций гендерных метафор. Классификация гендерных метафор по содержанию на феминные, маскулинные, андрогинные, позволяет обеспечить их сбалансированное применение при проектировании архитектурного ансамбля, его гармоничное включение в существующий контекст. Также предложена классификация гендерных метафор по выразительным средствам на сюжетные и абстрактные. Сюжетные гендерные метафоры подразделяются на пластические метафоры и метафоры «объект-символ». К абстрактным гендерным метафорам относятся: психологическая и социальная метафоры. Предложенные авторами классификации гендерных метафор вносят вклад в формирование гендерного подхода в архитектуре, упрощают использование гендерных метафор как особого выразительного средства при проектировании архитектурной среды.

Список библиографических ссылок

1. Ayiran N. The Role of Metaphors in the Formation of Architectural Identity // A|Z ITU Journal of Faculty of Architecture. 2012. Vol. 9 (2). P. 1–21.
2. Гриценко Е. С. Метафора и гендер в процессах категоризации и концептуализации // Вопросы когнитивной лингвистики. 2011. № 2. С. 13–17.
3. Михайлов С. М., Михайлова А. С., Белов М. И., Филимонова Ю. М. Гендерные установки в дизайне города // Design review. 2015. № 1 (4). С. 18–54.
4. The Curious Cubic Houses Of Rotterdam // all-that-is-interesting.com : daily. internet-edit. 2016. URL: <http://all-that-is-interesting.com/cubic-houses-rotterdam> (reference date: 08.12.2016).
5. The West Kowloon Terminus under the Hong Kong Section of the Express Rail Link Project // aedas.com : official site 2017. URL: <http://www.aedas.com/en/architecture/express-rail-link-west-kowloon-terminus> (reference date: 25.10.2016).
6. House of Dior Seoul // archdaily.com : daily. internet-edit. 2015. URL: <http://www.archdaily.com/775902/house-of-dior-seoul-christian-de-portzamparc> (reference date: 26.10.2016).
7. Искусство первой половины XVII века // artux.ru : электронная энциклопедия 2010. URL: <http://artux.ru/books/item/f00/s00/z0000022/st001.shtml> (дата обращения: 26.10.2016).
8. Kleiner F. S. Gardener's Art through the Ages. Boston : Rococo to Neoclassicism: the 18th Century in Europe and America. 2014. Ch. 21. P. 615–641.
9. Дворец бракосочетаний «Багт кошги» // polimeks.com : официальный сайт, 2015. URL: <http://polimeks.com/ru/buildingdetail/> (дата обращения: 08.12.2016).
10. Халиуллина О. Р. Роль гендерного фактора в современной социокультурной ситуации дизайн-проектирования : межвузовский сб. н. ст. Тенденции развития социокультурного пространства / ОГПУ. Оренбург, 2010. С. 35–40.
11. Севелова М. А. Маскулинность и фемининность как новый критерий анализа ценностей // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2012. № 2 (6). С. 169–171.

Mikhaylov S.M. – doctor of art, candidate of architecture, professor

E-mail: souzd@mail.ru

Filimonova Y.M. – student

E-mail: filimonova-00@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Gender metaphors in the architecture of the modern city

Abstract

Problem statement. The goal of the research is to reveal the tendencies of the manifestation of gender metaphors in the architectural environment of the modern city.

Results. The main results of the research consist in the identification of modern trends in the manifestation of gender metaphors in the architectural environment of the city: the expansion of the semantic field of feminine gender-activity, multitasking, autonomy are interpreted as feminine characteristics; Artistic images of large architectural ensembles often refer to androgynous metaphors; There is interaction of gender metaphors of different time periods. A significant result of the study was the introduction of classifications of gender metaphors in content (feminine, masculine, androgynous) and expressive means (plastic metaphors, object-symbol metaphors, psychological and social metaphors).

Conclusions. The significance of the obtained results for the architecture is that the revealed tendencies can serve as a guide in determining the relevance of the gender metaphors used in the architectural project and the correspondence of their content to the requirements of

the modern socio-cultural situation. The proposed classifications of gender metaphors contribute to the formation of a gender approach in architecture, simplify the use of gender metaphors as a special expressive tool in the design of an architectural environment.

Keywords: gender, gender metaphor, types of gender metaphors, architecture, architectural environment, a modern city, post-industrial society.

References

1. Ayiran N. The Role of Metaphors in the Formation of Architectural Identity // A|Z ITU Journal of Faculty of Architecture. 2012. Vol. 9 (2). P. 1–21.
2. Gritsenko E. S. Metaphor and Gender in the processes of categorization and conceptualization // Voprosy kognitivnoy lingvistiki. 2011. № 2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/metafora-i-gender-v-protsessah-kategorizatsii-i-kontseptualizatsii> (reference date: 31.01.2017).
3. Mikhaylov S. M., Mikhaylova A. S., Belov M. I., Filimonova Y. M. Gender installation in city design // Design review. 2015. № 1 (4). P. 18–54.
4. The Curious Cubic Houses Of Rotterdam // all-that-is-interesting.com : daily. internet-edit. 2016. URL: <http://all-that-is-interesting.com/cubic-houses-rotterdam> (reference date: 08.12.2016).
5. The West Kowloon Terminus under the Hong Kong Section of the Express Rail Link Project // aedas.com : official site 2017. URL: <http://www.aedas.com/en/architecture/express-rail-link-west-kowloon-terminus> (reference date: 25.10.2016).
6. House of Dior Seoul // archdaily.com : daily. internet-edit. 2015. URL: <http://www.archdaily.com/775902/house-of-dior-seoul-christian-de-portzamparc> (reference date: 26.10.2016).
7. The Art of the first half of the XVII century // artyx.ru : electronic encyclopedia. 2006. URL: <http://artyx.ru/books/item/f00/s00/z0000022/st001.shtml> (reference date: 26.10.2016).
8. Kleiner F. S. Gardener's Art through the Ages. Boston : Rococo to Neoclassicism: the 18th Century in Europe and America. 2014. Ch. 21. P. 615–641.
9. Wedding Palace «Bagt Koshgi» // polimeks.com : official site. 2015. URL: <http://polimeks.com/ru/buildingdetail/> (reference date: 08.12.2016).
10. Khaliullina O. R. The role of gender in the contemporary socio-cultural situation of design engineering : Interuniversity collection of scientific articles – Trends in the development of social and cultural space / OGPU. Orenburg, 2010. P. 35–40.
11. Sevelova M. A. Masculinity and femininity as a new criterion of analysis values // Historical, philosophical, political and legal sciences, cultural studies and art history. Theory and practice. 2012. № 2 (6). P. 169–171.

УДК 721

Шинкарёв А.Н. – аспирантE-mail: shinkarev-90@mail.ru**Прокофьев Е.И.** – кандидат архитектуры, профессор**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Принципы организации кардиологического диагностического блока

Аннотация

Постановка задачи. В настоящее время отсутствуют систематизированные принципы архитектурно-планировочного проектирования универсальных диагностических блоков. При этом, кардиологические центры и их архитектурно-планировочные принципы в сельской местности, крупных и крупнейших городах будут сильно отличаться. Наша задача заключается в разработке такой модели кардиологического диагностического блока, которая позволит интегрировать его как в существующие объемно-планировочные условия здания, когда речь идет о реновации зданий больниц и поликлиник, так и во вновь проектируемые лечебные и торговые комплексы.

Результаты. В результате исследования мы классифицировали кардиологические диагностические блоки в зависимости от той среды, в которую они будут внедряться. Для каждого вида блоков предложена своя функциональная структура, которая ляжет в основу объемно-планировочного решения проектируемого блока.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что мы разработали универсальную методику проектирования кардиологических диагностических блоков для различной местности. При дальнейшей разработке архитектурно-планировочных принципов организации ячейки мы сможем предложить полный алгоритм создания универсального модульного кардиологического диагностического блока.

Ключевые слова: структура системы здравоохранения, диагностические блоки, мобильные кардиологические центры, мобильная кардиология, структура кардиологического блока, зарубежные клиники, кардиологические блоки в торговых центрах.

Основанием для разработки принципов организации кардиологической диагностической структуры послужила Справка к расширенному заседанию коллегии Министерства здравоохранения Республики «Итоги деятельности системы здравоохранения Республики Татарстан в 2015 году [1]. Основные направления стратегии развития до 2030 года». Согласно представленной информации в нашей республике существует несколько проблем в области здравоохранения и смертности населения, ключевую позицию среди которых занимает повышенная смертность населения от болезней системы кровообращения (БСК) – 51,1 %. Углубленный анализ статьи показал, что очагами повышенной смертности является сельская местность в Ютазинском, Зеленодольском, Мензелинском, Буинском, Пестречинском, Лаишевском МО. Смертность от заболеваний системы кровообращения в Казани, Набережных Челнах, Нижнекамском, Елабужском и Альметьевском МО постепенно снижается за счет развития диагностических кардиологических центров Казани (Республиканская клиническая больница (далее РКБ), Республиканская клиническая больница № 2 и Межрегиональный клинко-диагностический центр (далее МКДЦ), Наб. Челнах (Больница скорой медицинской помощи), Альметьевске (МСЧ ПАО «Татнефть») и Нижнекамске (Нижнекамская ЦРМБ).

Мы предположили, что развитие системы диагностических кардиологических центров по всей республике позволит равномерно эффективно снизить смертность населения: согласно статистике, в большинстве случаев пациента с приступом инфаркта миокарда просто не успевают доставить в специализированные лечебные центры. Целью нашей работы стала разработка принципов организации кардиологических диагностических блоков различного уровня.

Очевидно, что кардиологические центры и их архитектурно-планировочные принципы в сельской местности, крупных и крупнейших городах будут сильно отличаться. В случае с малыми городами и селами речь пойдет и мобильных кардиологических центрах. Говоря же о крупнейших городах, мы принимаем более сложную и развитую систему объектов здравоохранения: кардиологические центры как кровеносная система организма должны равномерно наполнять их.

В этой работе мы для себя определили следующие ключевые задачи:

- проанализировать современные примеры кардиологических диагностических центров (мобильных комплексов);
- определить типы кардиологических диагностических единиц для поселков, средних, крупных и крупнейших городов и проанализировать возможность применения различных архитектурно-планировочных схем для организации гибкой структуры диагностического кардиологического центра;
- предложить принципы организации кардиологической диагностической ячейки.

Анализ современных примеров мобильных кардиологических диагностических центров

Для анализа мы выбрали несколько наиболее интересных примеров. В качестве одного из них – мобильный кардиологический центр «Мобильный кардиолог», который работает на базе Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева (Москва) [2]. Этот кардиологический центр способен преодолевать большие расстояния (представляет собой модернизированный специально оборудованный прицеп грузового автотранспорта). Благодаря заложенной возможности трансформации пространства удалось разместить не только приемно-консультативное помещение, но и оборудование для диагностики заболеваний (ЭКГ (электрокардиография), ЦДС (цветовое дуплексное сканирование сосудов), ЭхоКГ (ультразвуковое исследование сердца), Тредмил-тест или кабинет нагрузочных проб) и даже мобильную операционную. Таким образом, пациентам удаленных и труднодоступных местностей такой мобильный кардиологический центр способен дать полную картину состояния сердечно-сосудистой системы, а в случае необходимости и оказать первую неотложную помощь. В режиме транспортировки этот мобильный центр занимает площадь всего в 37,7 м², в рабочем положении площадь увеличивается до 52,1 м² (рис. 1).

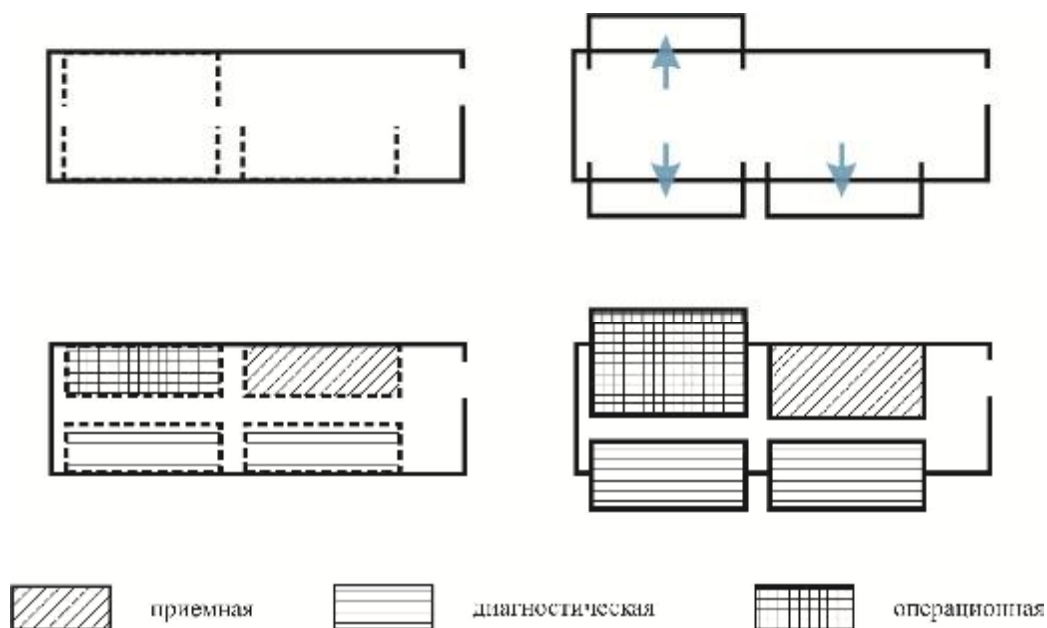


Рис. 1. Функциональная схема мобильного диагностического комплекса

Другой яркий пример, проектируемый для МКДЦ (Казань), клинико-инновационный центр, который включает в себя блок диагностики заболеваний системы кровообращения. Особенностью разрабатываемого комплекса является его широкопрофильная и глубокая диагностика состояния здоровья пациентов. Схема-экспликация помещений будущего клинико-диагностического центра составлялась под руководством главврача МКДЦ и при участии практикующих врачей существующего комплекса. Отличительной чертой каждой функциональной ячейки является группировка обслуживающих помещений вокруг зала ожидания. При этом каждая функциональная группа имеет повышенное количество консультативных кабинетов, что можно обозначить в качестве отличительной черты современных крупных диагностических центров.

В качестве примера кардиологического центра полной диагностики системы кровообращения можно выделить консультативно-диагностическое отделение РКНПК (Российский кардиологический научно-производственный комплекс). В основе структуры консультационно-диагностического отделения лежит комплексная методика анализа состояния здоровья пациента. В клинике уделяется внимание не только сердечно-сосудистым заболеваниям, но и сопутствующей патологии. При этом, стоит отметить, что сопутствующая диагностика внедрялась уже на базе существующего кардиологического диагностического центра. Такая трансформация могла быть обусловлена наличием свободных пространств или переориентацией уже существующих. Стоит понимать, что такая реконструкция зданий больниц носит ограниченный характер и постепенное увеличение функциональной нагрузки на объект приведет к тому, что блочная пространственная организация перейдет к линейному расширению площади застройки комплекса. В таком случае наиболее приемлемым вариантом будет внедрение в реконструируемое здание максимально компактных и эффективных блок-ячеек.

Разновидности кардиологических диагностических единиц и анализ применимости различных архитектурно-планировочных схем для организации гибкой структуры диагностического кардиологического центра

Существуют различные принципы архитектурно-планировочной организации пространства. Среди них можно выделить следующие ключевые: анфиладная, система с горизонтальными коммуникационными помещениями, зальная, атриумная, секционная, смешанная (комбинированная). Если рассматривать этапы эволюции объектов здравоохранения на территории России (научная работа Чеберева Ольга Николаевна, 2009 г.), то можно заключить, что эволюция шла от самого простого анфиладного планировочного решения к современному смешанному [3]. Двигателем развития архитектурно-планировочной организации пространства было постоянное расширение функционального насыщения зданий и помещений. Результат исследований показывает, что ни один из архитектурно-планировочных принципов организации пространства не имел универсальности и продолжительного признания. И даже последние тенденции, которые заключаются в изначальной разработке гибкого трансформируемого пространства, на данном этапе ограничены в двухмерной среде и, вероятно, столкнутся с рядом трудностей в ходе многократного расширения функциональной нагрузки на тот или иной объект. Когда речь идет о сложной многопрофильной структуре нельзя говорить об организации линейного принципа, или абсолютной ячейковой структуре. Как и живой организм такая среда будет постоянно меняться и развиваться как функционально, так и объемно [4]. Можно предположить, что наиболее универсальным конструктивным приемом для комплексов объектов здравоохранения будет разработка большепролетного каркаса, который позволит создавать новые и реконструировать существующие как горизонтальные, так и вертикальные связи. Заполнение таких пространств можно будет осуществлять с использованием универсальных функциональных ячеек атриумного типа (рис. 2).

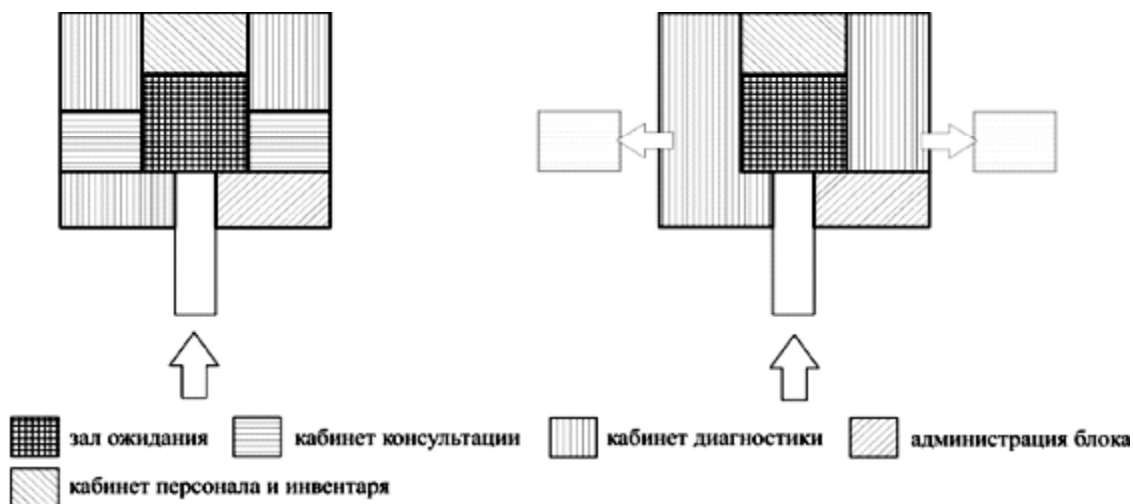


Рис. 2. Атриумная ячейка. Пример реорганизации кардиологического диагностического блока

В наши дни похожее конструктивное решение можно найти в проектах торговых комплексов и складских или производственных помещениях (которые зачастую реконструируются в торгово-развлекательные площади). Свободная планировка большепролетных зданий и относительно большая высота потолков позволят внедрять в них нашу кардиологическую ячейку по диагностике заболеваний системы кровообращения. Отметим, что в 2015 году в Казани при поддержке Министерства здравоохранения РТ в торговых центрах «МЕГА» и «Кольцо» уже проводилась акция скринингового обследования посетителей. Это мероприятие собрало большое количество желающих обследовать свой организм. В результате из 490 обследованных посетителей отклонение от нормы по уровню артериального давления выявлено у 94 человек, а у 188 пациентов выявлено повышенное содержание холестерина в крови, что повышает риск сердечно-сосудистых заболеваний. Проведенная акция показала высокую привлекательность услуг по диагностике заболеваний в помещениях торгового центра. Повышенная пропускная способность таких кардиологических диагностических центров может быть обеспечена за счет увеличения количества врачей-консультантов (2:1 или 3:1 по отношению к обычным поликлиникам в праздничные и выходные дни).

Однако стоит отметить, что в большинстве случаев даже в самих поликлиниках и городских больницах отсутствует материальная база для диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы [5]. Большинство таких заведений, функционирующих в средних, крупных и крупнейших городах нашей страны, были запроектированы и построены в советский период 1960-1970 гг. На протяжении следующих 20 лет они расширялись за счет пристройки новых блоков. Зачастую такие комплексы исчерпали потенциал предоставленной под застройку территории, а значит дальше расширяться они не могут. В таком случае речь идет о функциональной реорганизации пространства в рамках существующего жесткого сборного каркаса здания.

Одним из ярких примеров такой реорганизации является здание поликлиники комплекса МКДЦ (Казань). Существовавшая коридорная структура здания была реорганизована в смешанную. После реконструкции количество ячеек на этаже сократилось: из коридора теперь можно попасть только в приемные кабинеты. Процедурные и диагностические кабинеты соединяются с приемным кабинетом анфиладой. В результате такой трансформации удалось снизить нагрузку на коридоры здания. Со своей стороны хотим добавить, что такая структурная реорганизация открывает возможности для увеличения полезного пространства здания через включение в процесс производства неиспользуемых площадей коридоров (рис. 3).

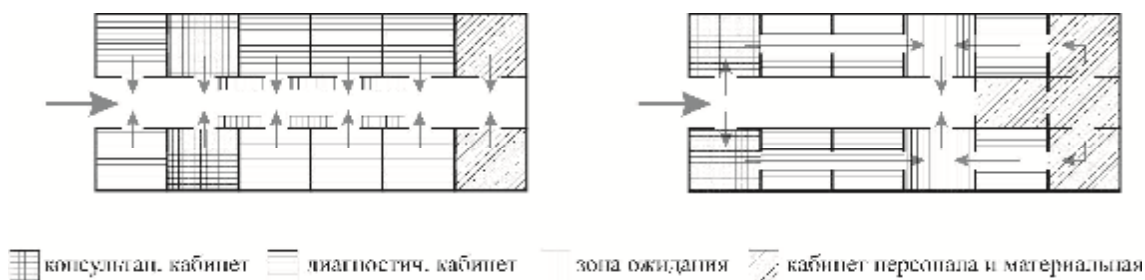


Рис. 3. Организация диагностического блока на примере существующей поликлиники

Наиболее универсальным решением для существующих зданий больниц при интеграции в них ячеек кардиологического диагностического центра служит анфилада залов. Тем не менее, при наличии достаточного финансирования проекта и в случае решения вопроса с генпланом местности возможно устройство павильонов кардиологических центров [6].

Такое решение универсально и применимо как для малых городов, так и для крупнейших городов: обслуживание районов и микрорайонов крупнейших городов осуществляют поликлиники и больницы старого планировочного типа.

В случае развития кардиологического диагностического направления в поликлиниках и больницах средних городов частично будет решен вопрос с высокой смертностью населения в сельской местности от заболеваний системы кровообращения. Это позволит значительно сократить время эвакуации больного из сельской местности (решается вопрос с длительной эвакуацией до крупных городов). Кроме того, с помощью этого решения мы повысим привлекательность данного вида услуг для жителей сельской местности: средние и крупные города смогут эффективно обслуживать население сельской местности в радиусе 40-60 км от города [7]. Но данное решение не будет иметь практического значения для более удаленных районов. В таком случае стоит рассматривать сельскую местность как самостоятельное звено общей сети кардиологических диагностических центров. Предлагаемые нами кардиологические диагностические центры могут организовываться на базе зданий сельской администрации или сельских клубов. Естественно, эти объекты не смогут предоставить такой же свободной площади как городские больницы или поликлиники. Поэтому «диагностическая ячейка» такого уровня должна иметь в своем арсенале самое необходимое оборудование, способное дать общую картину состояния здоровья пациента.

Принципы организации кардиологической диагностической ячейки

Как уже ранее определили, кардиологические диагностические центры должны быть разного уровня организации для того, чтобы отвечать различным требованиям объектов городской, сельской местности, торговой или административной среды. Отличаться эти виды центров будут не только по своему архитектурно-планировочному решению, но и по функциональной насыщенности. Рассмотрим подробнее 2 фактора, определяющих структуру диагностического центра.

Территориальный фактор

В предыдущем разделе мы уже проанализировали возможные области интеграции кардиологического диагностического центра в среду города (поселения). Были определены следующие рабочие направления: здание сельсовета/ здание клуба для удаленной местности; здание поликлиники/ здание больницы для малых и средних городов; здания поликлиник, больниц, торговых комплексов и новых проектируемых объектов здравоохранения для крупных и крупнейших городов. Отличаются они только исходными данными: в зданиях сельсоветов, например, ограниченная свободная площадь; а поликлиники не позволяют реализовать атриумную планировочную структуру, хотя и могут предоставить необходимое количество помещений [8]. Торговые центры обладают всеми преимуществами для разработки всевозможных планировочных решений диагностического центра, но имеют очень высокую стоимость квадратного

метра. А современные медицинские комплексы должны развиваться по пути максимального сокращения коридорных связей для того, чтобы стать не только энергоэффективными, но и рациональными для пребывающих в них пациентов.

Функциональный фактор

Кардиологические диагностические центры могут иметь различную планировочную структуру в зависимости от того, в каких условиях они организованы. Коммерческая основа и свободная планировка торгового комплекса предоставляет возможность включения широкого спектра услуг в рамки диагностического центра [9]. Кроме того, это позволит дать посетителям торговых комплексов полную картину состояния их здоровья и далее направить в специализированный лечебный центр. Функционирующие поликлиники и больницы уже имеют диагностические блоки, но по статистике количество врачей кардиологов в поликлиниках нашей республики составляет 0,7 на один объект и 1,5 специалиста на одну больницу. То есть, согласно данным каждая третья поликлиника не имеет в своем штате ни одного врача кардиолога. Поэтому в составе диагностического центра для поликлиники обязательно должно быть свободное количество консультирующих врачей и основное кардиологическое диагностическое медицинское оборудование. Сопутствующая диагностика может быть привлечена имеющимися в составе поликлиники кабинетами.

Для существующих крупных диагностических центров наш проект не будет представлять интереса, так как в них уже заложена материальная база для диагностики сердечных заболеваний; но для проектируемых новых объектов мы можем предоставить информацию по уже разработанной кардиологической диагностической единице, архитектурно-планировочные принципы организации которой могут лечь в основу других отделений диагностики заболеваний. Таким образом, для этого направления необходимо разрабатывать полноценный кардиологический диагностический центр с возможностью интеграции в процесс полной диагностики состояния здоровья пациента (рис. 4).

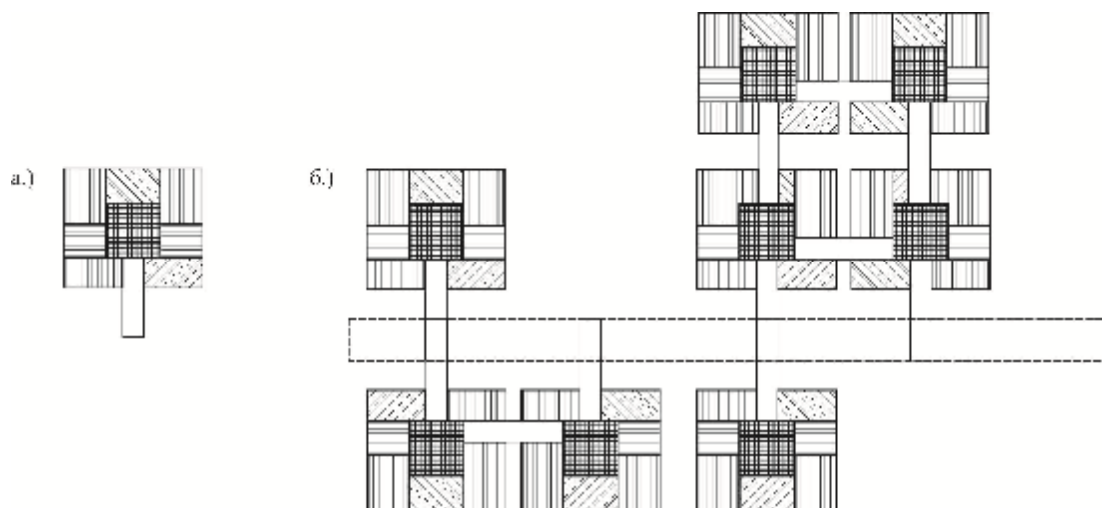


Рис. 4. Интеграция кардиологического диагностического блока в структуру современного диагностического комплекса:
а) структура диагностического блока (мобильная ячейка);
б) организация структуры диагностического комплекса с использованием трансформируемой диагностической ячейки

Перечень необходимых кабинетов и медицинского оборудования для кардиологического диагностического центра мы составляли совместно с представителями МКДЦ и с использованием литературы по организации медицинской среды [10]. Функциональная структура разрабатывалась для современного клиничко-диагностического комплекса федерального значения. Мы со своей стороны проанализировали данные Минздрава РТ и составили экспликацию по помещениям для кардиологических

диагностических центров различного уровня организации. Площади помещений определялись врачами и руководством МКДЦ. Для кабинетов ЭКГ, ЭХО КГ, нагрузочных проб и осциллографических исследований вычислялась оптимальная площадь. В случае с кабинетами консультации, СМАД (суточный мониторинг артериального давления), установкой ХМ (холтер-мониторинг) мы предлагаем корректировку площадей в случае нехватки квадратных метров. Пример с «Мобильным кардиологом» показал, что кабинет консультации пациента может занимать всего 6 м², а установка суточного мониторинга артериального давления может производиться на площади чуть более 4 м². Количество и площади помещений для обслуживающего персонала и хранения инвентаря будут зависеть от определенного функционального оснащения центра (таблица).

Таблица

Экспликация и площади помещений кардиологического диагностического блока

| Тип диагн. центра | Наименование помещения, колич. шт | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------|----------------|----------------|--------|------------------------|----------------|
| | Консульт. кабинет | ЭКГ | ЭХО КГ | Устан. ХМ | СМАД | Кабинет нагрузоч. проб | Осцил. исслед. |
| В поликлинике/больнице | 2-3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| В торговом комплексе | 2-4 | 1 | 1-2 | 1-2 | 1-2 | 1-2 | 0-1 |
| В проектах лечебных комплексов | 8 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 1 |
| В сельской местности | 1-2 | 1 | 1 | 1 | | 0-1 | 0-1 |
| Тип диагн. центра | Наименование помещения, колич. шт | | | | | | |
| | Кабинет персонала | Ординат. | Ст. мед. сест. | Сестра хозяйка | Матер. | КУИ | С/У |
| В поликлинике/больнице | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0-1 |
| В торговом комплексе | 1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 2-3 | 1 | 1 |
| В проектах лечебных комплексов | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| В сельской местности | 1 | 0-1 | 0-1 | 1 | 1 | 0-1 | 0-1 |

Основными принципами при последующем проектировании кардиологического диагностического блока должны быть:

- принцип минимализма, т.е. максимально эффективное и компактное планировочное решение диагностического блока для сельской местности и поликлиник с соблюдением минимально необходимых площадей помещений для размещения медицинского оборудования;

- принцип универсальности, т.е. разработка гибкой структуры, позволяющей кардиологическому диагностическому центру интегрироваться в систему современного диагностического комплекса на основе соблюдения соотношения количества различных помещений согласно таблице для различных типов диагностических центров;

- принцип ячеистости, т.е. структурное разделение зон пребывания и передвижения пациентов блока и его медицинского персонала.

Таким образом, мы приблизились к непосредственной работе по проектированию различных типов кардиологических диагностических блоков. Для проверки эффективности дальнейшей работы необходимо разработать по 2-3 площадки каждого из описанных выше примеров для внедрения предлагаемого кардиологического блока.

Список библиографических ссылок

1. Тезисы докладов: итоги деятельности системы здравоохранения Республики Татарстан в 2015 году. Казань, 2016. 98 с.
2. Лечебно-диагностические медицинские комплексы // INTERMEDSERVICE.RU : ежедн. интернет-изд. 2008. URL: <http://www.intermedservice.ru/kompleksnyye-meditsinskiye-programmy/mobilnye-meditsinskie-kompleksy/prezentaciya.pdf> (дата обращения: 03.03.2017).

3. Чеберева О. Н. Принципы архитектурной модернизации комплексов медицинских соматических стационаров на примере городских больниц Нижнего Новгорода. Н. Новгород, 2009. 210 с.
4. Creasy T. M. The Wellness Clinic : A New Approach to Healthcare Design : master's Thesis / University of Tennessee. Nashville, 2012. 52 p.
5. Вебер Л. Н. Организация стационарной медицинской помощи городскому населению. М., 2011. 174 с.
6. Kras I. M. C. Sustainable hospital buildings : master's Thesis / Technical University of Delft. Amsterdam, 2011. 115 p.
7. Калининская А. А., Тарасов Ю. И., Варенова Л. Е. Организация консультативно диагностической помощи сельскому населению. М., 2008. 32 с.
8. Kimia Samimi. Children's Cancer and Transplant Hospital : a Micro Town within a Bubble : master's Thesis / University of Massachusetts. Amherst, 2012. 111 p.
9. Ларцев Ю. В. Новый лечебно-диагностический комплекс для больных гонартрозом. Самара : Академия, 2007. 253 с.
10. НПО мобильные клиники // MOBCLINIC.RU : интернет-изд. 2007-2013. URL: <http://www.mobclinic.ru/diagnosticheskie-kompleksy.html> (дата обращения: 24.02.2017).

Shinkarev A.N. – post-graduate student

E-mail: shinkarev-90@mail.ru

Prokofiev E.I. – candidate of architecture, professor

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Principles of the organization of the cardiological diagnostic block

Abstract

Problem statement. Now there are no systematized principles of architectural and planning design of universal diagnostic blocks. At the same time, the cardiological centers and their architectural and planning principles in rural areas, the large and largest cities will strongly differ. Our task consists in development of such model of the cardiological diagnostic block which will allow to integrate it as into the existing space-planning conditions of the building, so far as concerns renovation of buildings of hospitals and polyclinics, and in again projected medical and malls.

Results. As a result of the study, we classified the cardiac diagnostic blocks depending on the area in which they will be introduced. For each type of blocks, we offer our own functional structure, which will form the basis of the space-planning solution of the designed unit.

Conclusions. The significance of the results obtained for the architecture is that we have developed a universal technique of design of cardiological diagnostic blocks for various area. At further development of the architectural and planning principles of the organization of a cell we will be able to offer a full algorithm of creation of the universal modular cardiological diagnostic block.

Keywords: structure of a health system, diagnostic blocks, the mobile cardiologic centers, mobile cardiology, structure of the cardiologic block, foreign clinics, cardiologic blocks in shopping centers.

References

1. Theses of reports: results of activity of a health system of the Republic of Tatarstan in 2015. Kazan. 2016. 98 p.
2. Medical and diagnostic medical complexes // INTERMEDSERVICE.RU : daily Internet-prod. 2008. URL: <http://www.intermedservice.ru/kompleksnyye-meditsinskiye-programmy/mobilnye-meditsinskie-kompleksy/prezentaciya.pdf> (reference date: 03.03.2017).

3. Chebereva O. N. The principles of architectural modernization of complexes of medical somatic hospitals on the example of city hospitals of Nizhny Novgorod. N. Novgorod. 2009. 210 p.
4. Creasy T. M. The Wellness Clinic : A New Approach to Healthcare Design : master's Thesis / University of Tennessee. Nashville, 2012. 52 p.
5. Weber L. N. Organization of stationary medical care to urban population. M., 2011. 174 p.
6. Kras I. M. C. Sustainable hospital buildings : master's Thesis / Technical University of Delft. Amsterdam, 2011. 115 p.
7. Kalinin A. A., Tarasov Yu. I., Varenova L. E. The organization it is advisory the diagnostic help to country people. M., 2008. 32 p.
8. Kimia Samimi. Children's Cancer and Transplant Hospital : a Micro Town within a Bubble : master's Thesis / University of Massachusetts. Amherst, 2012. 111 p.
9. Lartsev Yu. V. A new medical and diagnostic complex for patients gonartrozy. Samara : Academy, 2007. 253 p.
10. NPO mobile clinics // MOBCLINIC.RU : Internet-prod. 2007-2013. URL: <http://www.mobclinic.ru/diagnosticheskie-kompleksy.html> (reference date: 02.24.2017).



УДК. 711.4, 711.7

Нарбеков М.Ф. – аспирант

E-mail: narbekov.m.f@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Развитие системы транспорта Бакинской Агломерации

Аннотация

Постановка задачи. Задачей исследования является: 1) предоставление характеристики Бакинской агломерации в соответствии с методикой разработанной ИГРАН и ЦНИИП градостроительства; 2) определение целесообразности размещения нового терминала Международного аэропорта в отношении транспортной доступности; 3) выявление тенденций развития транспортной инфраструктуры Бакинской агломерации 30-ти летнего периода.

Результаты. В первом разделе статьи представлен расчет параметров Бакинской агломерации, основные характеристики территориального развития Большого Баку – индекс и коэффициент агломеративности, темпы развития. Во второй части публикации приводится анализ транспортной обеспеченности городов спутников и агломерационного ядра, основных объектов инфраструктуры внешнего и внутреннего транспорта, рассматривается альтернативная концепция размещения нового Международного аэропорта на линии транспортного коридора, соединяющего субгорода агломерации. В заключительной части работы представлен анализ статистических данных и расчет основных параметров системы.

Выводы. Рациональность размещения нового объекта инфраструктуры воздушного сообщения была обоснована с использованием метода пространственного разграничения. На основании анализа эволюции транспортной инфраструктуры Абшеронского полуострова с 1986 г. выявлены тенденции развития системы транспорта в планировочной структуре столичного региона республики. Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования методом экстраполяции долгосрочного развития транспортной системы Бакинской агломерации.

Ключевые слова: Бакинская агломерация (БА), Большой Баку, коэффициент агломеративности, индекс агломеративности, темпы развития, транспортная доступность, урбанизация, развитие транспортной системы, пространственное разграничение.

Введение

Обеспечение эффективной транспортной доступности между городами и объектами инфраструктуры внешнего и внутреннего транспорта является одной из первостепенных задач, стоящих перед современными градостроителями. Специалисты стран СНГ в области урбанистики и связанных с ней отраслей столкнулись лицом к лицу с острыми транспортными проблемами, возникшими в период экономического и политического кризиса, вызванного переходом к новой формации в постсоветский период, который привел к дестабилизации развития регионов бывшего СССР. Генпланы городов и систем расселения союзных республик пришлось пересматривать и адаптировать к условиям рыночной экономики. Проект развития столичного региона Азербайджана также не стал исключением. Проекты генплана г. Баку 1986 г. сроком на 20 лет, по объективным причинам, не удалось воплотить в жизнь в полном объеме. Работа над новыми генпланами городов Бакинской агломерации (БА) и Планом регионального развития Большого Баку (ПРРББ) до 2030 г. завершилась лишь в 2014 г. Согласно новому планировочному документу особое значение уделяется развитию городов спутников и переходу к полицентрической модели развития. В данных условиях рассмотрение новых альтернативных концепций развития транспортной инфраструктуры с учетом тенденций предыдущего периода принимает особую актуальность. Целью данной работы является определение перспектив развития комплексной транспортной системы в планировочной структуре БА на долгосрочный период.

Оценки уровня развития Бакинской агломерации

Для оценки уровня развития Бакинской агломерации были использованы методики, разработанные Институтом географии РАН и ЦНИИП градостроительства [1]. Данные методики основаны на определении численности населения, коэффициента развитости агломерации, транспортной доступности ядра агломерации, индекса и коэффициента агломеративности [2].

Бакинская агломерация (БА) представляет собой компактное расположение, группировку городских поселений Абшеронского полуострова и прилегающих к нему территорий, объединенных в единое целое интенсивными производственными, трудовыми, культурно-бытовыми и рекреационными связями.

Согласно мнению ученых Г. Лаппо и П. Поляна главными критериями выделения городских агломераций являются: наличие ядра с населением не менее 250 тыс. человек, наличие около ядра не менее двух городских населенных пунктов (НП), маятниковая миграция, транспортная доступность НП не более 1,5 часа от агломерационного ядра, а также коэффициент развитости городской агломерации больший 1 [3]. Для определения границ агломерации согласно методике ЦНИИП следует произвести совмещение двухчасовой изохроны транспортной доступности центра агломерации с 30-и минутными изохронами от больших (250-500 тыс. чел.) и средних городов (100-250 тыс. чел.) [4, 5].

Численность населения агломерационного ядра, включая пригороды столицы и поселки Абшерона, составляет около 2,2 млн. человек (данные Госкомстата Азербайджана) [6], г. Баку является крупнейшим городом и административным центром республики. В 30 км от г. Баку расположен г. Сумгаит – индустриальный спутник столицы. Численность населения города, включая пригороды – более 300 тыс. чел. Транспортная доступность до г. Баку составляет около 1 часа на автомобиле и 40 минут на электричке. Пассажиропоток ж/д сообщения Баку – Сумгаит составляет до 2 тыс. пассажиров в день. К северо западу от центра ядра расположен третий по численности населения город агломерации – г. Хырдалан (около 100 тыс. чел.), удаленный от г. Баку на расстояние 30 минутной доступности на автомобильном транспорте и 20-ти минутной на электричке.

Согласно проведенному анализу изохрон транспортной доступности с применением современных геоинформационных технологий определение границ Бакинской агломерации в соответствии с методикой ЦНИИП, по мнению автора, не соответствует вышеприведенному определению агломерации. С учетом данного несоответствия при расчете коэффициента развития условные границы агломерации приняты согласно Плану Регионального Развития Большого Баку (ПРРББ) до 2030 г. (рис. 1).

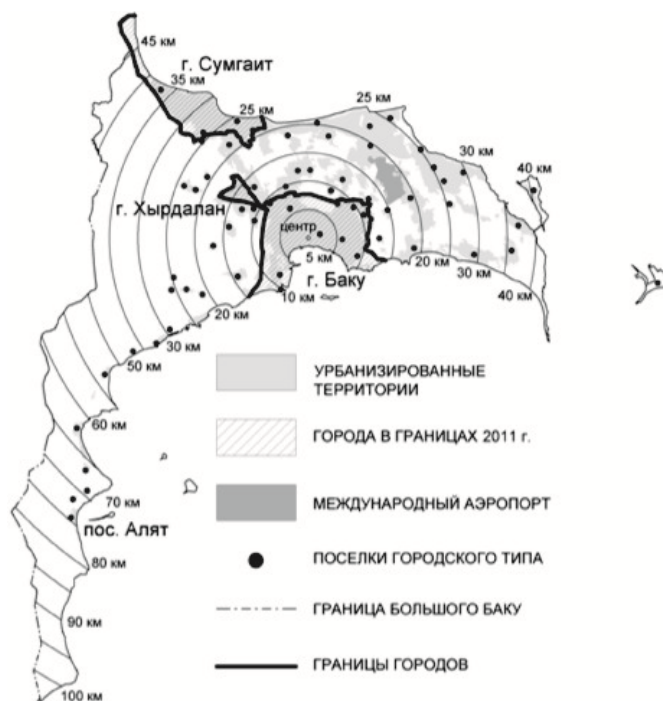


Рис. 1. Города и поселки Бакинской Агломерации (Большого Баку)

Коэффициент развитости (K_p) городской агломерации определяется по формуле (1):

$$K_p = P \times (M \times m + N \times n), \quad (1)$$

где P – численность населения агломерации (млн чел); M – количество городов в составе агломерации; N – количество поселков городского типа в составе агломерации; m – доля численности городского населения городов в агломерации; n – доля численности населения поселков городского типа в агломерации.

По данным ПРРББ население БА в 2011 г. составляло около 2,6 млн чел.: г. Баку в границах генплана – 1,7 млн. (вместе с НП Абшеронского п-ва и прилегающих к нему территорий – 2,1 млн), г. Сумгаит – около 300 тыс. чел, г. Хырдалан – около 100 тыс. чел [7].

Коэффициент развитости БА составляет около 40; по критериям ИГРАН агломерации с критерием развитости от 10 до 50 считаются сильно развитыми. Следует отметить, что данный коэффициент в 1970 г. составлял лишь 21,2 [8].

По методике ЦНИИП коэффициент агломеративности вычисляется по формуле (2):

$$K_a = \frac{N}{S \cdot l} \quad (2)$$

где K_a – коэффициент агломеративности; N – число городских поселений в агломерации; S – площадь территории агломерации; l – среднее кратчайшее расстояние между городскими поселениями агломерации.

Согласно ПРРББ площадь Большого Баку составляет около 2820 км², среднее расстояние между населенными пунктами БА около 6 км. На территории БА насчитывается более 60 поселков городского типа. Из них около 10 поселков расположены в пределах границ г. Баку согласно генеральному плану 2011 г. Таким образом, подставив значения в формулу, получаем коэффициент агломеративности равный 0,12. Агломерация считается развитой, если значение коэффициента превышает 0,1.

Индекс агломеративности высчитывается по формуле (3):

$$I_a = P/P_a, \quad (3)$$

где P – численность городского населения зоны спутников; P_a – численность городского населения агломерации. Для БА данный показатель равен 0,35.

Темпы развития агломерации по методике Института географии Академии наук выражаются показателем среднегодовых темпов прироста городского населения за 20 летний период. Данный показатель вычисляется по формуле (4):

$$\overline{T}_{np} = \left(1 - \sqrt[n-1]{Y_n/Y_1}\right) \times 100\%, \quad (4)$$

где, \overline{T}_{np} – среднегодовой темп прироста, Y_n – численное значение последнего уровня, Y_1 – численное значение первого уровня, $n-1$ – число лет в периоде.

В 1990-ом году население БА составляло 2,1 млн чел., а в 2011 – 2,6 млн. чел. Данный показатель за период с 1990 по 2011 гг. составляет 1 %, что свидетельствует о слабодинамичном темпе демографического развития БА постсоветского периода.

Анализ транспортной доступности городов Бакинской агломерации

В исследовании транспортной обеспеченности городов и объектов инфраструктуры был использован метод оценки пространственного разграничения предложенный североамериканским ученым Брюсом Алленом. Данная методика была апробирована на примере агломераций США, а по результатам расчета автором проведен корреляционный анализ динамики изменения транспортной доступности и занятости населения. В отличие от топологических методов оценки транспортной доступности в методе Аллена принимается во внимание сложность преодоления пространства, разделяющего начальный и конечный пункт, без учета их количественных показателей [9]. В качестве меры преодоления пространства выбрано расстояние между пунктами, которое необходимо преодолеть на автомобильном транспорте по существующей дорожно-транспортной сети за кратчайшее время.

Суммарная транспортная доступность пункта вычисляется путем построения матриц доступности (табл. 1). Транспортная доступность пункта вычисляется как отношение суммы длин оптимальных по времени маршрутов между пунктами к их

общему количеству за исключением исходного. Расчет представлен в формуле (5):

$$A_i = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n T_{ij}, \quad (5)$$

где A_i – показатель транспортной доступности (ТД) пункта i (чем он выше, тем ниже доступность), T_{ij} – кратчайший маршрут из пункта i в пункт j , n – количество рассматриваемых пунктов.

В качестве исследуемых пунктов были выбраны основные объекты транспортной инфраструктуры городов Бакинской агломерации: железнодорожные вокзалы г. Баку и г. Сумгаит, ж/д станция г. Хырдалана, международный аэропорт имени Г. Алиева, ж/д станция в пос. Алят (рис. 2), а также альтернативное расположение аэропорта согласно концепции однонаправленной коммуникативной структуры бакинского района расселения, разработанного советскими специалистами. Оптимальный маршрут между пунктами определяется согласно данным геоинформационной системы.

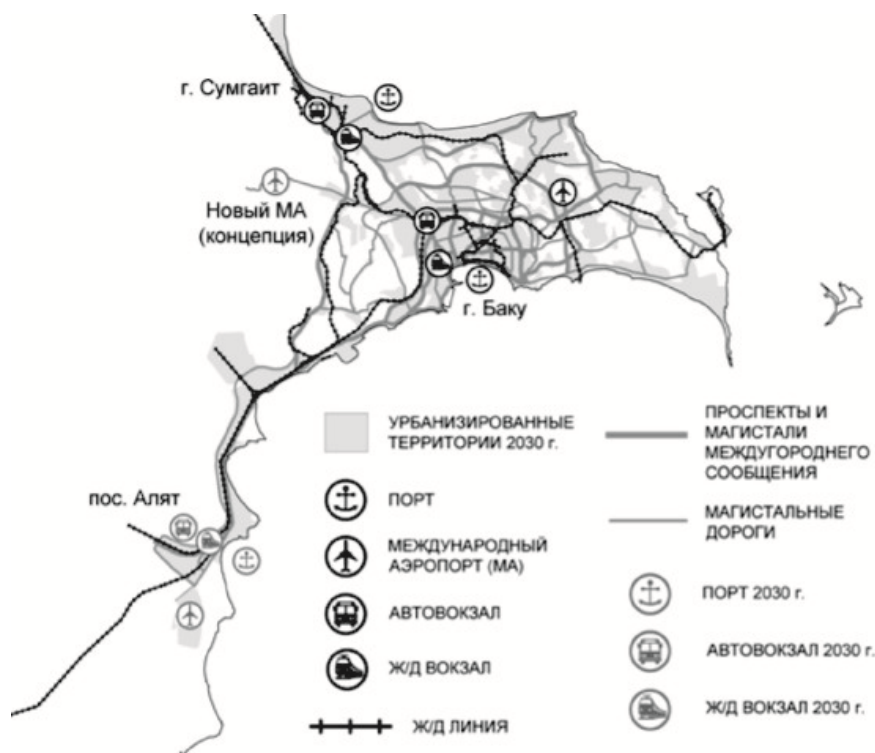


Рис. 2. Объекты транспортной инфраструктуры Бакинской агломерации

Результаты вычислений, согласно выбранной методике, показали, что наиболее доступным городом в планировочной структуре БА является г. Хырдалан (ТД – 33,5), следом за ним идет г. Баку (ТД – 35), затем г. Сумгаит (ТД – 43,1). Наихудший показатель доступности у поселка Алят (логистический центр и будущий субгород БА), что связано с наибольшей удаленностью от остальных городов и объектов инфраструктуры воздушного сообщения. В планировку БА был включен новый инфраструктурный объект – Международный аэропорт-2, расположенный в 30 км к северо-западу от центра г. Баку на линии Сумгаит – Алят. По мнению автора, такое расположение нового аэропорта соответствует логике развития городов спутников БА; данная концепция будет набирать актуальность с процессом урбанизации столичного региона – увеличением территорий городских поселений и переходу от моноцентрической модели агломерационного развития к полицентрической. Предполагаемое место строительства будущего терминала было выбрано с учетом рельефа местности и организации санитарно-защитных зон. Результаты анализа транспортной доступности подтвердили рациональность данного решения.

Таблица 1

Матрица пространственного разграничения

| Пункт назначения \ Пункт отправления | г. Баку (ж/д вокзал) | г. Сумгаит (ж/д вокзал) | г. Хырдалан (ж/д станция) | пос. Алят (ж/д станция) | Международный аэропорт | Международный аэропорт-2 | Доступность пункта |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
| г. Баку (ж/д вокзал) | — | 31,7 км | 14,7 км | 73,6 км | 24,7 км | 30,2 км | 35,0 |
| г. Сумгаит (ж/д вокзал) | 31,1 км | — | 24,6 км | 87,5 км | 45,9 км | 26,6 км | 43,1 |
| г. Хырдалан (ж/д станция) | 13,5 км | 25,0 км | — | 77,7 км | 35,0 км | 16,5 км | 33,5 |
| пос. Алят (ж/д станция) | 72,4 км | 83,2 км | 77,8 км | — | 98,5 км | 73,5 км | 81,1 |
| Международный аэропорт | 23,7 км | 50,9 км | 33,9 км | 99,5 км | — | 49,3 км | 51,5 |
| Международный аэропорт-2 | 28,9 км | 23,6 км | 16,6 км | 73,6 км | 50,4 км | — | 38,6 |

Расчет параметров магистральной сети Большого Баку

В данном разделе представлен расчет показателей, характеризующих транспортную обеспеченность территории с точки зрения транспортного обслуживания объектов инфраструктуры и населения агломерации (табл. 2).

Таблица 2

Параметры магистральной сети БА

| Показатели \ Год | Население, тыс. чел | Протяженность сети, км | Плотность сети, км/км ² | Обеспеченность населения, км/тыс. чел | Коэффициент Энгеля | Коэффициент Гольца |
|------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|
| 2011 | 2600 | 639 | 0,22 | 0,25 | 0,24 | 1,5 |
| 2030 | 3900 | 909 | 0,32 | 0,23 | 0,27 | 2,1 |

1) Общая протяженность магистральной сети составляет 639 км (данные ПРРББ).

2) Плотность магистральной сети выражается отношением общей протяженности сети к площади территорий (6):

$$d_s = \frac{L_m}{S}. \quad (6)$$

Плотность магистральной сети равна 0,22 км на 1 км² площади агломерации.

Транспортная обеспеченность населения определяется по формуле (7):

$$d_p = \frac{L_m}{P}, \quad (7)$$

где d_p – транспортная обеспеченность населения, L_m – общая протяженность сети, P – население агломерации, тыс. чел.

Коэффициент Энгеля (8):

$$d_{\text{Э}} = \frac{L_m}{\sqrt{SP}} \quad (8)$$

где $d_{\text{Э}}$ – коэффициент Энгеля, L_m – общая протяженность сети, S – площадь территории агломерации, P – население агломерации, тыс. чел.

Коэффициент Гольца (9):

$$d_{\text{Г}} = \frac{L_m}{\sqrt{S\Pi}} \quad (9)$$

где $d_{\text{Г}}$ – коэффициент Гольца, L_m – общая протяженность сети, S – площадь территории агломерации, Π – количество населенных пунктов.

Развитие транспортной системы городов БА 1986-2030 гг.

В 1985 г. объем пассажирских перевозок на всех видах ОТ в г. Баку составлял 709,2 млн. чел. Согласно генплану г. Баку 1986 г. к 2006-му году предполагалось уменьшить долю пассажироперевозок на автобусном транспорте за счет развития сети метрополитена и троллейбусного сообщения. Доля электрифицированных видов ОТ должна была составлять 70 % от общего объема пассажирских перевозок. Протяженность линий метрополитена, как приоритетного вида транспорта, должна была быть увеличена на 26,9 км – с 25,1 до 52 км (вместе с линиями депо – 53,7 км), а количество станций с 15 до 31. В рамках программы Государственного Комитета Планирования СССР, республиканским Советом Министров (постановление № 913-37 за 11.09.1981) была утверждена комплексная схема развития всех видов городского и внешнего транспорта г. Баку и Абшеронского полуострова до 2000 г. Согласно данной схеме троллейбусные линии должны были увеличиться до 230 км (140 км к 1986 г.), автобусные маршруты до 400 км (300 км к 1986 г.). Расчетная плотность сети ОТ составляла 3 км/км² к 2000 г., а к 1986 г. – 2 км/км². Показатель автомобилизации на расчетный срок был принят 165 транспортных средств на 1000 чел., т.е. городской автомобильный парк был рассчитан на 378 тыс. единиц. На 01.01.1986 г. в Баку насчитывалось 53,6 тыс. автомобилей (31 автомобиль на каждые 1000 чел.).

В целях оптимизации движения автотранспорта на дорогах столицы был разработан проект модернизации городской дорожно-уличной сети, который предусматривал прокладку новых магистральных дорог и улиц повышенной пропускной способности с улучшенными показателями скорости движения потока. Новые магистрали должны были связать между собой промышленные зоны с жилыми районами запада и востока города. На первом этапе предполагалось строительство 53,5 км новых городских магистралей. Кроме этого было запланировано строительство магистральных линий, связывающих НП Абшерона с рекреационными зонами полуострова. Проект включал в себя прокладку следующих окружных магистралей: вдоль южной границы курортной зоны, магистраль соединяющую зону нефтяных месторождений с юго-западом Абшеронского п-ва, Сальянское шоссе с г. Сумгаит и трассой Баку–Ростов. Также в новый генплан был заложен проект организации сети магистральных дорог высшей категории с выходом на магистраль республиканского значения.

Протяженность магистральных улиц на расчетный срок должна была быть увеличена с 300 км до 600 км. Плотность магистральной сети должна была быть увеличена с 1,35 км/км² до 2,73 км/км². Количество разноуровневых перекрестков решено было увеличить с 11 до 65, а подземных пешеходных переходов с 12 до 32.

Аэропорт в поселке Бина продолжал выполнять функцию Международного аэропорта; обслуживание внутренних рейсов возлагалось на запасной аэропорт в поселке Забрат [10].

Однако по причине развала Союза и последующего экономического спада 90-х гг. не все вышеперечисленные пункты были претворены в жизнь. К 2006-му году все трамвайные и троллейбусные линии города Баку были ликвидированы [11]. Количество станций метрополитена увеличилось лишь на 5, к 2006 г. было введено в эксплуатацию только 5 новых станций вместо 16, а протяженность линий увеличена лишь на 4,8 км [12].

Таблица 3

Развитие транспортной системы БА до 2030 г. (верхний показатель – 2011 г., нижний – 2030 г.)

| Территория Параметры | г. Баку (вместе с поселками Абшерона) | г. Сумгаит | Абшеронский район в границах Большого Баку | БА в границах Большого Баку |
|---------------------------------------|--|------------|---|--------------------------------------|
| Численность населения, млн чел | 2,09 | 0,32 | 0,19 | 2,60 |
| | 3,14 | 0,40 | 0,31 | 3,85 |
| Площадь, тыс. км ² | 2,1 | 0,09 | 0,6 | 2,8 |
| | | 0,13 | | |
| Протяженность линий метро, км | 35 | — | — | 35 |
| | 119 | | | 119 |
| Протяженность магистральных дорог, км | 530 | 44 | 65 | 639 |
| | 750 | 46 | 113 | 909 |
| Протяженность железных дорог, км | 290 | 38 | 40 | 368 |
| | 253 | 48 | 35 | 336 |
| Количество аэропортов | 1 | — | — | 1 |
| | 2 | | | 2 |

По данным ПРРББ (2011 г.) общая протяженность линий метрополитена г. Баку составляет 34,7 км, к 2030 г. протяженность линий метро составит 119 км; городские магистральные улицы – 146,64 км, а к 2030 г. – 215,43 км; ж/д пути – 85 км, в 2030 – 65 км.

В табл. 3 приведены численные значения развития транспортной системы по основным показателям для г. Баку (вместе с поселками Абшеронского п-ва), г. Сумгата и Абшеронского района в границах Большого Баку, в состав которого входит г. Хырдалан.

На рис. 3 представлена динамика изменения общих показателей развития транспортной системы г. Баку, г. Сумгаита и Абшеронского района с 2000 по 2015 гг.

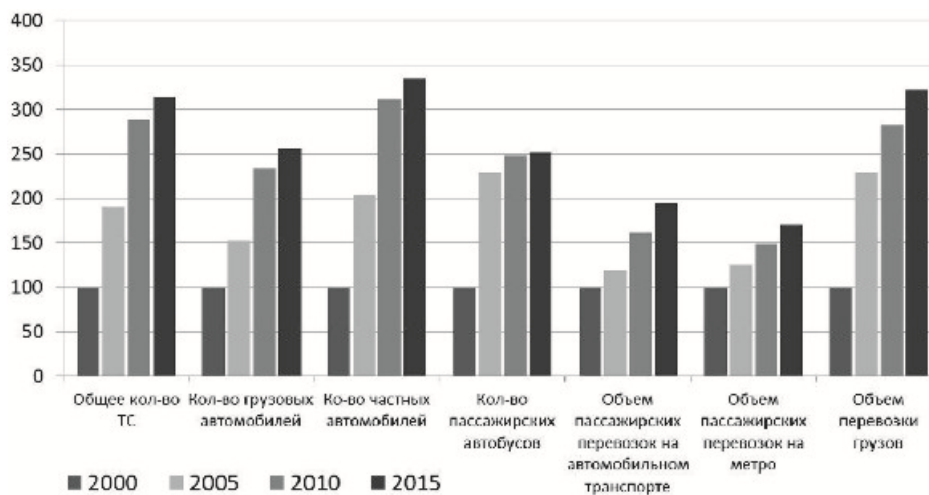


Рис. 3. Процентное соотношение показателей развития транспортной системы г. Баку, г. Сумгаита и Абшеронского района 2000–2015 гг.

За 15-ти летний период количество транспортных средств на территории БА увеличилось в 4,7 раз; количество грузовых автомобилей в 3,4; количество частных автомобилей в 5,2 раза; количество пассажирских автобусов в 2,8 раз; объем пассажирских перевозок на автомобильном транспорте вырос в 2,3 раза; объем пассажирских перевозок метрополитена вырос в 1,9 раз; объем перевозки грузов вырос в 4,9 раз. До 2010 г. количество частных автомобилей возрастало вдвое каждые пять лет.

После 2010 г. наблюдается резкий спад показателя автомобилизации – за период с 2010 г. по 2015 г. количество автомобилей в городе увеличилось лишь на четверть.

Метрополитен является стабильно развивающимся видом транспорта, каждые пять лет объем пассажироперевозок увеличивается на 23–25 %. Согласно ПРРББ подземный электрифицированный транспорт является одним из основных направлений развития транспортной системы г. Баку. По итогам 2015 года метрополитен ежедневно в среднем перевозит 589,1 тысяч, а в течение года более 200 млн пассажиров. По данным первой половины 2016 года около 12 % всех пассажиров страны пользовались услугами метрополитена. По сравнению с общегородскими показателями пассажироперевозок на долю метрополитена пришлось примерно 30 % пассажироперевозок. К 2030-му году согласно концептуальной программе развития Бакинского метрополитена протяженность подземных магистралей столицы составит около 119 км, на которых будут функционировать 76 станций [13].

Для повышения эффективности функционирования транспортной системы был реализован ряд мер, которые заключались в строительстве перехватывающих парковок на въезде в столицу, организации новых маршрутов ОТ на экспресс автобусах повышенной комфортабельности, введение карточной системы оплаты за проезд с целью сокращения времени на посадку и высадку пассажиров, ликвидацию незаконных парковок в центре города Баку, введения в эксплуатацию с сентября 2015 года новых пассажирских поездов (электричек), курсирующих между городами Баку и Сумгаит.

Наряду с вышеперечисленными мерами развитие сети экологически рациональных видов транспорта (подземное метро, городской трамвай, наземный легкорельсовый транспорт, велосипедное сообщение и т.д.) также позволит разгрузить дорожно-уличную сеть, улучшить экологию городов путем сокращения объема выхлопных газов, сократить

время и средства, затраченные на поездки. С этой целью сокращение числа поездок на личном автомобиле без пассажиров; развитие инфраструктуры общественного транспорта (ОТ), велосипедного и пешеходного движения, строительство мультимодальных пересадочных узлов повышенной транспортной доступности для всех категорий граждан, включая людей с ограниченными физическими возможностями является одной из первостепенных задач развития транспортной системы БА.

Заключение

В данной работе была проведена оценка уровня развития Бакинской агломерации 2011 года (дата начала отчета ПРРББ на расчетный срок до 2030 г.). Согласно расчетам по методике, предложенной специалистами Института географии РАН и ЦНИИП градостроительства, Бакинская агломерация в границах Большого Баку является развитой, однако невысокий показатель среднегодовых темпов прироста населения 1990-2011 гг. указывает на слабодинамичное демографическое развитие бакинского района расселения.

Анализ транспортной доступности согласно методике Аллена показал высокую транспортную обеспеченность агломерационного ядра по сравнению с городами спутниками. Лидером по показателям транспортной доступности является г. Хырдалан, расположенный в 15 км от г. Баку. Результаты расчета также подтвердили рациональность расположения нового Международного аэропорта на линии Сумгаит – Алят с точки зрения транспортной доступности данного объекта инфраструктуры в условиях перехода от моноцентрической структуры к полицентрической, при которой большое значение уделяется развитию субгородов.

В целях увеличения транспортной доступности между населенными пунктами агломерации, согласно Плану регионального развития Большого Баку, предусмотрено строительство новых магистральных дорог, протяженность которых превышает прежние показатели на 42 %. Особое значение уделяется развитию сети Бакинского метрополитена. Протяжённость сети по сравнению с 2011 г. планируется увеличить в 3,4 раза.

Анализ генплана г. Баку 1986 г. выявил приоритетные направления развития транспортной системы, которая заключалась в уплотнении сети магистральных улиц и дорог общегородского значения, а также развитию ОТ, работающего на электрической тяге. Планировалось увеличить долю пассажирских перевозок на метро, троллейбусах и трамваях до 70 % от общего объема пассажироперевозок. Развал СССР и тяжелый период адаптации к новым условиям капиталистической формации не позволили осуществить инициативы развития экологичных видов транспорта. В постсоветский период был произведен демонтаж существующих троллейбусных и трамвайных линий города Баку. К 2016 процентное соотношение пассажироперевозок электрифицированного транспорта достигло лишь 30 % от показателей общегородских перевозок на ОТ. После приобретения независимости упор был сделан на развитие дорожно-уличной сети, которое заключалось в строительстве новых дорог, мостов, развязок, туннелей, подземных и наземных пешеходных переходов. Данное решение было оправдано высокими темпами автомобилизации – за пятнадцатилетний период (2000-2015 гг.) количество автомобилей в г. Баку увеличилось в 5 раз. Следует отметить, что рост общего числа автомобильного транспорта на территории БА после 2010 г. снизился на 73 % по сравнению с показателями предыдущего периода (98 % рост за период 2005-2010 гг., 25 % – за период 2010 по 2015 гг.).

Комплекс мер по модернизации существующей дорожно-транспортной сети, развитию наземного ОТ, оптимизации работы парковок, расширению сети метрополитена, организации маршрутов междугороднего ж/д сообщения, совершенствованию системы управления городским транспортом привел к более эффективному функционированию транспортной инфраструктуры. Однако существует ряд проблем связанных с экологией, социальной адаптацией граждан с ограниченными физическими возможностями, санитарно-гигиеническими требованиями застройки, экономикой городского хозяйства, рациональным использованием территорий и т.д. Данные задачи, стоящие перед современными градостроителями, возможно решить, используя комплексный подход, заключающийся в историческом анализе эволюции городов, выборе методов оценки и прогнозирования, исследовании перспективного развития, эффективном управлении на всех стадиях подготовки и реализации проектных инициатив.

Список библиографических ссылок

1. Стрельников А. И., Семенова О. С. Варианты определения границ агломерации в современных условиях на основе анализа социальных и экономических связей и с применением расчетного моделирования // Транспортное дело России. 2010. № 8. С. 145–155.
2. Волчкова И. В. Теоретические и практические подходы к исследованию процессов формирования городских агломераций // Региональная экономика: теория и практика. 2013. № 29 (308). С. 42–49.
3. Озем Г. З., Запрудский И. И. К вопросу о выделении границ Минской агломерации : сб. материалов Международной научно-практической конференции – Географические науки в обеспечении стратегии устойчивого развития в условиях глобализации (к 100-летию со дня рождения профессора Н. Т. Романовского) / БГУ. Минск, 2012. С. 109–112.
4. Шмидт А. В., Антонюк В. С., Франчини А. Городские агломерации в региональном развитии: теоретические, методические и прикладные аспекты. Экономика региона. 2016. Т. 12, вып. 3. С. 776–778.
5. Ижгузина Н. Р. Подходы к делимитации городских агломераций // Дискуссия. 2014. № 9 (50). С. 44–52.
6. Demographic indicators of Azerbaijan : statistical yearbook / State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Baku : SSCRA, 2016. 480 p.
7. Градостроительство и архитектура. Региональные схемы // Государственный Комитет Архитектуры и Градостроительства Азербайджанской Республики : официальный сайт. URL: http://www.arxkom.gov.az/39/regional_sxemler.html (дата обращения: 02.02.2017).
8. Ковалев С. А., Ковальская Н. Я. География населения СССР. М. : МГУ, 1980. 288 с.
9. Дубовик В. О. Методы оценки транспортной доступности территории // Региональные исследования. 2013. № 4 (42). С. 11–18.
10. Генеральный план г. Баку. Основные положения развития до 2005 г. / Исполнительный комитет г. Баку, Бакинский Государственный Проектный Институт. Баку. 1986 г. URL: http://www.arxkom.gov.az/105/baki_seheri.html (дата обращения: 10.02.2017).
11. Нарбеков М. Ф. Развитие сети легкорельсового транспорта Бакинской агломерации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20, № 12. С. 202–214.
12. Transport in Azerbaijan : statistical yearbook / State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Baku : SSCRA, 2016. 138 p.
13. Бакинский метрополитен // ЗАО «Бакинский метрополитен» : официальный сайт. URL: <http://metro.gov.az/ru/history> (дата обращения: 12.02.2017).

Narbekov M.F. – post-graduate student

E-mail: narbekov.m.f@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Development of Baku agglomeration's transportation system**Abstract**

Problem statement. Research objectives: 1) provision of Baku agglomeration's characteristics in accordance with the approach developed by the Institute of Geography under the Russian Academy of Sciences and the Central Research Institution of Urban Planning; 2) determination of the feasibility of establishing a new International Airport terminal from the viewpoint of transport accessibility; 3) identification of the development trends of Baku agglomeration's transport infrastructure over a 30-year period.

Results. The first section of the article contains a determination of Baku metropolitan

area's parameters, the key features of Greater Baku's territorial development – the agglomeration index and coefficient, and the growth rate. The second section of the article features an analysis of the transportation accessibility of satellite cities and the agglomeration core, the major infrastructure facilities of internal and interurban transportation, an optional concept of a new International Airport's location on an axis of the transportation corridor interconnecting the sub-cities of the metropolitan area. A statistical data analysis and a calculation of basic system parameters are provided in the final section of the article.

Conclusions. The rationality of a new air transportation facility's location is substantiated in the article using the spatial separation method. The transportation system's development trends within the planning pattern of the Azerbaijan Republic's capital region have been identified on the basis of an analysis of Absheron peninsula's transport infrastructure conducted since 1986. The resulting data can be used for the purpose of forecasting the long-term development of Baku agglomeration's transportation system using the extrapolation method.

Keywords: Baku agglomeration, Greater Baku, agglomeration coefficient, agglomeration index, growth rate, transport accessibility, urbanization, transportation system development, spatial separation.

References

1. Strel'nikov A. I., Semenova O. S. Ways in which metropolitan area in the modern context by analyzing the social and economic relations and using the estimated model // *Transportnoe delo Rossii*. 2010. № 8. P. 145–155.
2. Volchkova I. V. Theoretical and practical approaches to the study of the processes of formation of urban agglomerations // *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*. 2013. № 29 (308). P. 42–49.
3. Ozem G. Z., Zaprudskiy I. I. On the issue of allocation of Minsk agglomeration borders: proceedings digest of International scientific-practical conference конференции – Geographical sciences in realization of sustainable development strategy in globalizing world (to the 100th anniversary of Professor N.T. Romanovskiy) / BGU. Minsk, 2012. P. 109–112.
4. Shmidt A. B., Antonyuk V. S., Francini A. Urban Agglomerations in Regional Development: Theoretical, Methodological and Applied Aspects. *Ekonomika regiona*. 2016. Vol.12, Issue 3. P. 776–778.
5. Izhguzina N. R. Approaches to the delimitation of the urban agglomerations // *Diskussiya*. 2014. № 9 (50). P. 44–52.
6. Demographic indicators of Azerbaijan : statistical yearbook / State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Baku : SSCRA, 2016. 480 p.
7. Urban planning and Architecture. Region schemes // State Committee for Urban Planning and Architecture of Azerbaijan: official website. URL: http://www.arxkom.gov.az/39/regional_sxemler.html (reference date: 02.02.2017).
8. Kovalev S. A., Kovalskaya N. Y. Geography of the USSR population. M. : MGU, 1980. 288 p.
9. Dubovik V. O. Methods of territory transport accessibility estimation // *Regionalnye issledovaniya*. 2013. № 4 (42). P. 11–18.
10. General layout of Baku. Main provisions of the development until 2005 / Baku Executive Committee, Baku State Project Institute. Baku. 1986. URL: http://www.arxkom.gov.az/105/baki_seheri.html (reference date: 10.02.2017).
11. Narbekov M. F. Light rail transit network development in Baku metropolitan area // *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2016. T. 20, № 12. C. 202–214.
12. Transport in Azerbaijan : statistical yearbook / State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Baku : SSCRA, 2016. 138 p.
13. Baku Metropolitan // CJSC «Baku Metropolitan» : official website. URL: <http://metro.gov.az/ru/history> (reference date: 12.02.2017).



УДК 539.3

Каюмов Р.А. – доктор физико-математических наук, профессор

E-mail: kayumov@rambler.ru

Шарафутдинова А.А. – студент

E-mail: alina_shara@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Об оценке долговечности строительных конструкций из стеклопластика¹

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработать методику оценки срока службы элементов конструкций из стеклопластика.

Результаты. Приводится краткий обзор работ, посвященных изучению различных факторов, влияющих на снижение прочности конструкций из стеклопластика, таких как температура, влажность, УФ-излучение, абразивный износ. Приведены результаты эксперимента на длительную прочность консольно закрепленных образцов, армированных поперек оси балки. На основе экспериментальных данных определены константы материала стеклопластика. Представлена методика и пример оценки срока службы стеклопластиковой балки при постоянной нагрузке, но переменной температуре, а так же пример расчета срока службы с учетом одновременного воздействия влажной среды и переменной температуры.

Выводы. Разработана методика, позволяющая определять срок службы конструкций из стеклопластика. Для этого использована модифицированная теория Журкова, учитывающая, что при достижении статического предела прочности удается получить условие мгновенного разрушения. Для учета переменной температуры использован закон линейного суммирования поврежденности.

Ключевые слова: долговечность, стеклопластик, эксперимент, старение, воздействие температуры.

Введение

При разработке методик расчета безопасного срока эксплуатации необходимо учитывать понижение прочности при воздействии различных факторов: напряжений, влаги, абразивного износа, УФ-излучения, температуры.

В отличие от многих строительных материалов воздействие ультрафиолетового излучения на стеклопластик весьма существенно. Заполнитель (стеклянное волокно) пропускает ультрафиолетовое излучение, в то время как связующее вещество (эпоксидная смола) плохо переносит солнечный свет (УФ-излучение). Спустя примерно шесть месяцев нахождения под ярким солнечным светом начинается ее распад. Дальнейшее облучение вызывает меление и неизбежное ее разрушение с потерей всех физических свойств. Исходя из этого, можно сделать вывод, что разрушение связующего приведет к понижению прочности всего материала. Для предотвращения этого вводят пластификаторы и стабилизаторы. В целом, отмечено, что УФ-излучение имеет ограниченное влияние на механические свойства материала, затрагивая, прежде всего, поверхность материала. Однако, в условиях высокой влажности или при нахождении элементов из стеклопластика под водой, воздействие УФ-излучения ухудшает прочностные характеристики вплоть до 19 % [1-3].

Известно, что с течением времени прочность влажного стеклопластика падает (рис. 1). Характер поврежденных стеклопластиков под действием влаги определяется, с одной стороны, химией поверхности, а с другой – механикой разрушения. Основная причина понижения прочностных свойств – это ослабление адгезии на границе раздела полимерное связующее – стекловолокно [4]. Под воздействием воды стеклопластик

¹Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-06018.

подвержен обратимым и необратимым потерям прочности. Обратимые потери прочности, которые связаны с набуханием связующего, высыханием и усадкой составляют 15-20 %, . Необратимые потери прочности, которые вызваны образованием микродефектов, могут составлять 5-35 %.

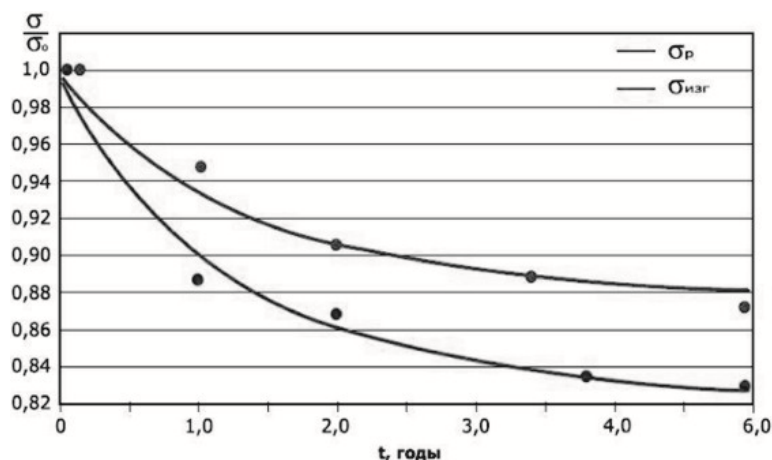


Рис. 1. Изменение относительной прочности влажного стеклопластика [4]

Установлено, что суточные колебания температуры в весенне-осенний период способствуют появлению термических напряжений. Так же возможно накопление микротрещин, сорбция и десорбция влаги с последующим ее замораживанием и оттаиванием, что ведет к хрупкому разрушению материала [5]. При низких климатических температурах для стеклопластиковых стержней выявлено существенное увеличение (до 20 %) значений разрушающих напряжений и предельных деформаций. Следовательно, стеклопластик является хладостойким и морозостойким материалом [5, 6].

К полям внешних факторов следует отнести и влияние абразивных частиц, присутствующих как в воздухе, так и в воде. Исследования этого фактора свидетельствуют о появлении абразивной эрозии, которая вызывается ударами механических частиц, взвешенных в воде или в воздухе. Стеклопластики в значительной степени подвержены абразивному износу.

Для разработки методики расчета на долговечность применяют различные подходы, например, теорию Работнова Ю.Н., Качанова Л.М., различные теории аналогий (температурно-временная, напряженно-временная), теорию Фика [7, 8].

Прочностные характеристики материалов постепенно падают также и при длительном действии механических нагрузок. Это ухудшение свойств материалов происходит благодаря постепенному накоплению повреждений в теле напряженного материала [9].

Основная часть

Из различных методик расчета на долговечность в данной работе выбран подход, в основе которого лежат теория Журкова и закон линейного суммирования поврежденности.

В зависимости от уровня механических напряжений время до разрушения материалов t может определяться по формуле Журкова:

$$t^* = e^{\frac{b-\sigma}{T}}, \quad (1)$$

где t^* – время до разрушения ($t = \tau/\tau_0$, τ_0 – константа размерности времени) α и β – константы материала, T – температура (К), σ – напряжения (МПа).

Однако при достижении статического предела прочности $\sigma = \sigma^*$ должно получаться $\tau = 0$. Для обеспечения этого условия можно модифицировать формулу Журкова в виде:

$$t^* = e^{\frac{b-\sigma}{T}} - e^{\frac{b-\sigma^*(T)}{T}}. \quad (2)$$

Здесь $\sigma^*(T)$ – мгновенный предел прочности материала при температуре T .

Закон линейного суммирования поврежденности позволяет определить потерю ресурса за определенный промежуток времени при переменных нагрузках или температурах. Согласно этой теории поврежденность, накопленная за время $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$, будет:

$$\Delta w_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \frac{dt}{t^*}, \quad (3)$$

где t^* – время до разрушения от напряжений, которые действуют в момент времени t , принадлежит интервалу $[t_i - t_{i-1}]$. Тогда критерий прочности записывается в виде:

$$\sum \Delta w_i = 1. \quad (4)$$

В случае, когда на интервале Δt_i напряжения, температура и другие параметры постоянны, тогда из (3), (4) получим:

$$\sum \frac{\Delta t_i}{t_i^*} = 1. \quad (5)$$

Это условие позволяет определить время t^* , в течение которого конструкция выдерживает внешнюю нагрузку без разрушения.

Приведем пример расчета t^* для элемента конструкции в виде консольно закрепленной балки, изготовленной из стеклопластика. Для вычисления времени до разрушения τ по формуле (1) в каждом месяце года нужно знать константы α, β . Данные константы материала определяются из двух серий экспериментов на длительную прочность при различных комбинациях нагрузок и (или) температур.

Приведем результаты испытаний на изгиб стеклопластиковых балок (рис. 2), армированных поперек оси балки. Предельное напряжение вычисляется по формуле:

$$s^* = \frac{M}{W}, \quad (6)$$

где M – изгибающий момент, W – момент сопротивления сечения. При $T_0=293^0\text{K}$ получилось, что предел прочности на изгиб имеет значение:

$$\sigma^*(293)=47,6 \text{ МПа}.$$



Рис. 2. Эксперимент на длительную прочность

Испытания на длительную прочность проводились также при $T_1 = T_2 = 293^0\text{K}$ и дали следующие результаты. Разрушение первого образца из стеклопластика произошло через $t=60$ суток, второго – через $t=9$ суток (рис. 3-4). Экспериментальные данные занесены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные

| Метка образца | Длина консоли (мм) | Толщина (мм) | Ширина (мм) | Изгибающая нагрузка (Н) | W (мм ³) | Напряжение предельное (Н/мм ²) | Время (сутки) |
|---------------|--------------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------|--|---------------|
| 2.1.90 | 60,0 | 4,0 | 25,5 | 50 | 68 | 41,11 | 60 |
| 2.2.90 | 61,5 | 4,1 | 24,2 | 50 | 67,8 | 45,35 | 9 |



Рис. 3. Вид разрушенного образца № 1

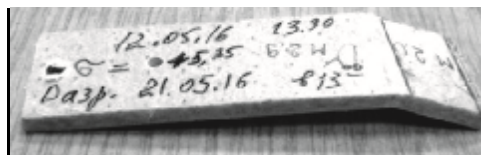


Рис. 4. Вид разрушенного образца № 2

Из двух экспериментов получим систему уравнений (везде ниже принято, что $\tau_0=1$ день):

$$60 = e^{\frac{b-a44,11}{293}} - e^{\frac{b-a47,6}{293}} ; 9 = e^{\frac{b-a45,35}{293}} - e^{\frac{b-a47,6}{293}} .$$

Решение ее можно проводить методом простых итераций. На первом шаге при $\alpha=0, \beta=0$ получим $\alpha= 425,823 \text{ К/МПа}$, $\beta= 19983,4 \text{ К}$; после 2-й итерации $\alpha= 438,551 \text{ К/МПа}$, $\beta = 20541,9 \text{ К}$; после 3-й итерации $\alpha= 439,75 \text{ К/МПа}$, $\beta = 20594,5 \text{ К}$; после 4-й итерации $\alpha= 439,854 \text{ К/МПа}$, $\beta=20599,0 \text{ К}$; после 5-й итерации $\alpha=439,863 \text{ К/МПа}$, $\beta=20599,4 \text{ К}$. Таким образом, процесс сходится достаточно быстро.

Далее рассмотрим пример оценки срока службы нашей балки при переменных температурах, предполагая, что эти перепады вызваны сменой времен года. При этом используем отмеченный выше факт, что при небольшом колебании температуры мгновенная статическая прочность пластиков изменяется незначительно. Примем, что:

$$\sigma = 40,5 \text{ МПа}, \alpha = 439,863 \text{ К/МПа}, \beta = 20599,4 \text{ К}.$$

Теперь по модифицированной формуле Журкова (2) найдем время до разрушения в разные месяцы года, считая температуру постоянной в течение месяца.

За первый месяц ($\Delta t=31$ суток) при $\sigma=40,5 \text{ МПа}$ и при температуре $T_1=252 \text{ К}$ получим:

$$t_1 = e^{\frac{20599,4-439,863 \times 40,5}{252}} - e^{\frac{20599,4-439,863 \times 47,6}{293}} = 63029,84 \text{ суток}.$$

Поврежденность за каждый месяц вычисляется по формуле (3). Например, за первый месяц она будет:

$$\Delta \omega_1 = \frac{\Delta t}{t^*} = \frac{31}{63029,84} = 0,000492.$$

Аналогично находим $\Delta \omega_2, \Delta \omega_3$ и т.д. Все данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет поврежденности по месяцам

| | Месяцы | $T_i \text{ (K)}$ | $\sigma \text{ (МПа)}$ | $t_i \text{ (суток)}$ | $\Delta t_i \text{ (суток)}$ | $\Delta \omega_i$ | |
|--------------------------|---------|-------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|-------------|
| $\alpha \text{ (К/МПа)}$ | 439,863 | январь | 252 | 40,5 | 63029,84 | 31 | 0,000491831 |
| $\beta \text{ (K)}$ | 20599,4 | февраль | 258 | 40,5 | 48744,57 | 28 | 0,000574423 |
| | | март | 274 | 40,5 | 25951,86 | 31 | 0,001194519 |
| | | апрель | 283 | 40,5 | 18783,66 | 30 | 0,001597133 |
| | | май | 290 | 40,5 | 14811,93 | 31 | 0,002092907 |
| | | июнь | 293 | 40,5 | 13424,72 | 30 | 0,002234684 |
| | | июль | 303 | 40,5 | 9809,68 | 30 | 0,003058203 |
| | | август | 298 | 40,5 | 11445,57 | 31 | 0,002708471 |
| | | сентябрь | 290 | 40,5 | 14811,93 | 30 | 0,002025394 |
| | | октябрь | 283 | 40,5 | 18783,66 | 31 | 0,001650371 |
| | | ноябрь | 272 | 40,5 | 27965,80 | 30 | 0,001072739 |
| | | декабрь | 252 | 40,5 | 63029,84 | 31 | 0,000491831 |

Поврежденность, накопленная за год, составляет:

$$w = \sum_i \frac{\Delta t_i}{t_i} = 0,019193 \times 100\% = 1,9193 \%$$

Далее можно вычислить время, при котором потеря ресурса составит 100 %:

$$X = \frac{1 \text{ год} \times 100\%}{1,9193\%} = 52,1 \text{ года.} \quad (7)$$

Таким образом, срок службы балки реального из рассмотренного стеклопластика составит 52,1 года.

Рассмотрим более крупные отрезки времени, то есть не по месяцам, а по временам года. И проанализируем как это влияет на общий расчет. Поврежденность за три месяца зимы вычисляется по формуле (3). Например, за зимний период времени она будет:

$$\Delta w_1 = \frac{\Delta t_1}{t^*} = \frac{90}{63030,75} = 0,001428.$$

Аналогично находим $\Delta \omega_2$, $\Delta \omega_3$ и т.д. Все данные сведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет поврежденности по временам года

| | | Месяцы | T_i (K) | σ (МПа) | t_i (суток) | Δt_i (суток) | $\Delta \omega_i$ |
|------------------|---------|--------|-----------|----------------|---------------|----------------------|-------------------|
| α (К/МПа) | 439,863 | зима | 252 | 40,5 | 63030,75 | 90 | 0,001427875 |
| β (K) | 20599,4 | весна | 283 | 40,5 | 18784,56 | 92 | 0,004897639 |
| | | лето | 298 | 40,5 | 11446,48 | 91 | 0,007950045 |
| | | осень | 282 | 40,5 | 19451,66 | 91 | 0,004678264 |

Поврежденность, накопленная за год, составляет:

$$w = \sum_i \frac{\Delta t_i}{t_i} = 0,018954 \times 100\% = 1,895 \%$$

Далее можно вычислить время, при котором потеря ресурса составит 100 %:

$$X = \frac{1 \text{ год} \times 100\%}{1,895\%} = 52,76 \text{ года.}$$

Видно, что деление на более крупные отрезки времени незначительно повлияло на результат.

Далее был проведен расчет с использованием нелинейной теории накопления повреждений [10]. Пересчитаем поврежденность за каждый месяц по формуле:

$$\Delta w_1 = A_1 \left(\frac{\Delta t_1}{t^*} \right)^{c_1} = 1,05 \left(\frac{31}{63029,84} \right)^{0,8} = 0,002369, \quad (8)$$

где коэффициенты A_i , c_i – константы соотношения, значения которых зависят от уровня нагружения и типа ПКМ. Для первого уровня нагружения, когда нагрузка находится в пределах 70-80 % от предела прочности коэффициенты равны:

$$A_i = 1,05, \quad c_i = 0,8.$$

Аналогично находим $\Delta \omega_2$, $\Delta \omega_3$ и т.д. Все данные сведены в табл. 4.

Таблица 4

Расчет поврежденности с учетом нелинейной теории накопления повреждений

| | | Месяцы | T_i (K) | σ (МПа) | t_i (суток) | Δt_i (суток) | $\Delta \omega_i$ |
|------------------|---------|----------|-----------|----------------|---------------|----------------------|-------------------|
| α (К/МПа) | 439,863 | январь | 252 | 40,5 | 63030,75 | 31 | 0,002369 |
| β (K) | 20599,4 | февраль | 258 | 40,5 | 48745,47 | 28 | 0,002683 |
| | | март | 274 | 40,5 | 25952,77 | 31 | 0,004819 |
| | | апрель | 283 | 40,5 | 18784,56 | 30 | 0,006079 |
| | | май | 290 | 40,5 | 14812,84 | 31 | 0,007547 |
| | | июнь | 293 | 40,5 | 13425,62 | 30 | 0,007953 |
| | | июль | 303 | 40,5 | 9810,58 | 30 | 0,010222 |
| | | август | 298 | 40,5 | 11446,48 | 31 | 0,009276 |
| | | сентябрь | 290 | 40,5 | 14812,84 | 30 | 0,007351 |
| | | октябрь | 283 | 40,5 | 18784,56 | 31 | 0,006241 |
| | | ноябрь | 272 | 40,5 | 27966,70 | 30 | 0,004422 |
| | | декабрь | 252 | 40,5 | 63030,75 | 31 | 0,002369 |

Поврежденность, накопленная за год, составляет:

$$w = \sum_i \frac{\Delta t_i}{t_i} = 0,071331 \times 100 \% = 7,133 \%$$

Далее можно вычислить время, при котором потеря ресурса составит 100 %:

$$X = \frac{1200 \times 100\%}{7,133\%} = 14 \text{ лет.}$$

Был проведен численный анализ по вычислению коэффициентов α и β в формулах Журкова при возмущениях исходных данных (изменении их на 1-5 %). Оказалось, что при использовании теории Журкова коэффициенты α и β сильно изменяются, то есть задача неустойчива. Гиперболо-степенная функция (9) оказалась же более устойчивой:

$$t = t_0 \left(b \left(\frac{a}{S} - 1 \right)^2 [R_b(K_T, K_W) - S] \right)^{\frac{T_0}{T}}, \quad (9)$$

где K_m – коэффициент, коэффициент, показывающий во сколько раз увеличился или уменьшился предел прочности по сравнению с экспериментальным пределом прочности в зависимости от температуры окружающей среды [4], K_w – коэффициент, показывающий во сколько раз уменьшился предел прочности по сравнению с экспериментальным пределом прочности, $R_b(K_m, K_w)$ – значение прочности после действия двух факторов: температур и влажности.

В качестве T_0 , τ_0 приняты данные, полученные в экспериментах: $T_0 = 293$ К – температура, при которой проводился эксперимент, $\tau_0 = 1$ день.

Коэффициенты α и β вычисляются как и в предыдущих расчетах из системы двух уравнений, по результатам эксперимента двух образцов:

$$60 = 1 \left(b \left(\frac{a}{44,11} - 1 \right)^2 [47,6 - 44,11] \right)^{\frac{293}{293}},$$

$$9 = 1 \left(b \left(\frac{a}{45,35} - 1 \right)^2 [47,6 - 45,35] \right)^{\frac{293}{293}}.$$

Решая систему уравнений итерационным способом, определяются константы материала:

$$\alpha = 46,57 \text{ МПа}, \beta = 5528 \text{ МПа}^{-1}.$$

Учтем одновременное воздействие температуры и влажности в каждом месяце года. Согласно графику из источника [4], предел прочности при выдержке образцов во влажной среде уменьшается примерно на 0,01 % за 1/12 года, то есть за один месяц. В месяцах, когда имеется повышенная влажность, учтем это уменьшение прочности, умножением на коэффициент 0,99. Уменьшение прочности от воздействия температур учтем, используя график (рис. 5) из источника [6].

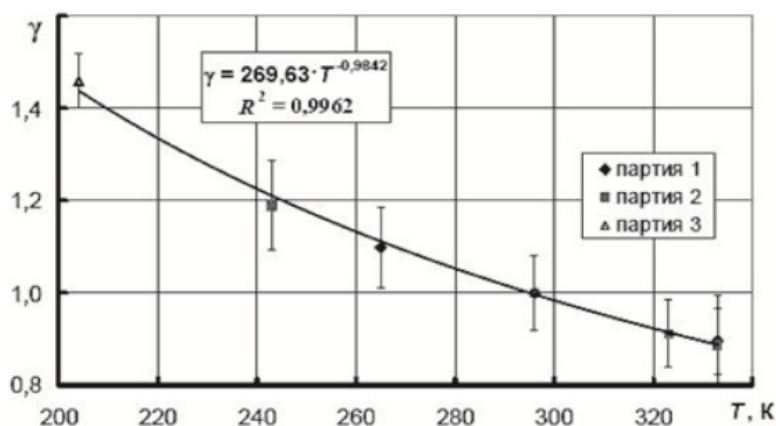


Рис. 5. Зависимость относительной прочности на изгиб от температуры [6]

Получим коэффициенты, на которые нужно умножить значение прочности, чтобы получить значение прочности под влиянием какого – либо фактора (табл. 5).

Таблица 5

Расчет значения прочности с учетом воздействия температуры и влажности

| Месяцы | Влажность | $T (K)$ | K_T | K_w | $R_b(K_m K_w)(MПа)$ |
|----------|-----------|---------|-------|-------|---------------------|
| январь | - | 252 | 1,165 | 1 | 55,454 |
| февраль | - | 258 | 1,16 | 1 | 55,216 |
| март | + | 274 | 1,09 | 0,99 | 51,365 |
| апрель | + | 283 | 1,05 | 0,99 | 49,4802 |
| май | - | 290 | 1,02 | 0,99 | 48,066 |
| июнь | - | 293 | 1 | 1 | 47,6 |
| июль | - | 303 | 0,96 | 1 | 45,696 |
| август | - | 298 | 0,98 | 1 | 46,648 |
| сентябрь | + | 290 | 1,02 | 0,99 | 48,0664 |
| октябрь | + | 283 | 1,05 | 0,99 | 49,4802 |
| ноябрь | + | 272 | 1,08 | 0,99 | 50,893 |
| декабрь | - | 252 | 1,165 | 1 | 55,454 |

Теперь по модифицированной формуле (9) найдем время до разрушения в разные месяцы года, считая температуру постоянной в течение месяца.

Примем, что максимальное напряжение действующее в элементе:

$$\sigma = 35 \text{ МПа.}$$

За первый месяц ($\Delta t = 31$ суток) при $\sigma = 35 \text{ МПа}$ и при температуре $T_i = 252 \text{ K}$ получим:

$$t = 1 \left(5528 \left(\frac{46,57}{35} - 1 \right)^2 [55,45 - 35] \right)^{\frac{293}{252}} = 57229,35.$$

Поврежденность за каждый месяц вычисляется по формуле (3). Например, за первый месяц она будет:

$$\Delta w_1 = \frac{\Delta t_1}{t^*} = \frac{31}{57229,35} = 0,000542.$$

Аналогично находим Δw_2 , Δw_3 и т.д. Все данные сведены в табл. 6.

Таблица 6

Расчет поврежденности по месяцам

| | | Месяцы | $T_i (K)$ | $\sigma (MПа)$ | $t_i (\text{суток})$ | $\Delta t_i (\text{суток})$ | Δw_i |
|--------------------|-------|----------|-----------|----------------|----------------------|-----------------------------|--------------|
| $\alpha (MПа)$ | 46,57 | январь | 252 | 35 | 57229,35 | 31 | 0,00054168 |
| $\beta (MПа^{-1})$ | 5528 | февраль | 258 | 35 | 43772,76 | 28 | 0,000639667 |
| | | март | 274 | 35 | 18708,79 | 31 | 0,001656975 |
| | | апрель | 283 | 35 | 12054,86 | 30 | 0,002488624 |
| | | май | 290 | 35 | 8661,11 | 31 | 0,003579216 |
| | | июнь | 293 | 35 | 7611,48 | 30 | 0,003941414 |
| | | июль | 303 | 35 | 4836,90 | 30 | 0,006202322 |
| | | август | 298 | 35 | 6064,53 | 31 | 0,00511169 |
| | | сентябрь | 290 | 35 | 8661,11 | 30 | 0,003463758 |
| | | октябрь | 283 | 35 | 12054,86 | 31 | 0,002571578 |
| | | ноябрь | 272 | 35 | 19488,97 | 30 | 0,001539332 |
| | | декабрь | 252 | 35 | 57229,35 | 31 | 0,00054168 |

Поврежденность, накопленная за год, составляет:

$$w = \sum_i \frac{\Delta t_i}{t_i} = 0,03227 \times 100 \% = 3,227 \%$$

Далее можно вычислить время, при котором потеря ресурса составит 100 %:

$$X = \frac{1 \text{ год} \times 100\%}{3,227\%} = 30,98 \text{ лет.}$$

Таким образом, срок службы балки из реального рассмотренного стеклопластика, с учетом воздействия влажной среды и переменных значениях прочности за счет колебания температур в течение года, составит 30,98 лет.

Используя выше изложенную методику оценки долговечности, можно вычислить срок службы балки из стеклопластика при различных напряжениях (рис. 6).

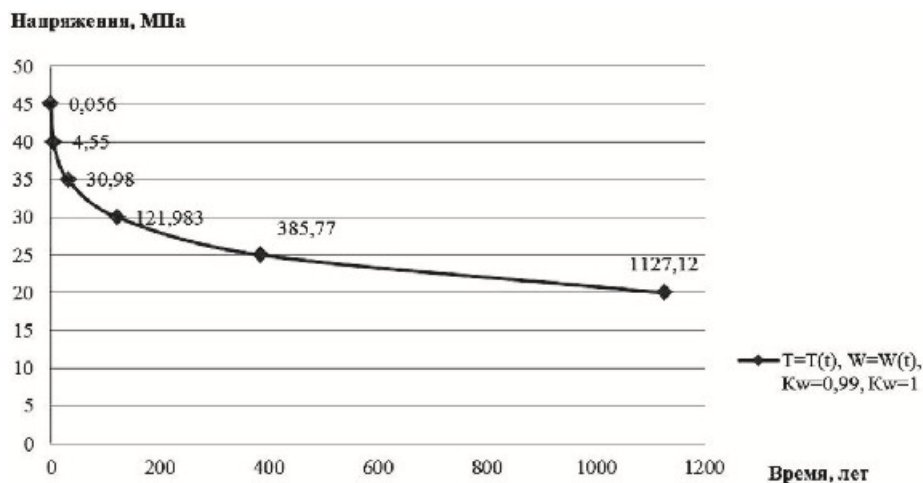


Рис. 6. График зависимости долговечности от действующих нагрузок при условии $T=T(t), W=W(t), K_w=0,99, K_w=1$

Заключение

1. Разработана методика определения долговечности конструкции, в основе которой лежат теория Журкова и закон линейного суммирования поврежденности.
2. Приведены пример обработки авторских длительных испытаний на изгиб стеклопластиковой балки, а также пример расчета ее долговечности при переменных температурах.
3. Деление на более крупные отрезки времени незначительно влияет на расчет по долговечности (в примере срок службы изменяется от 52,1 до 52,76 года).
4. Расчет с учетом нелинейной теории накопления повреждений существенно влияет на конечный результат.
5. Протестирована гипербола-степенная функция, которая дает результаты более устойчивые к возмущениям экспериментальных данных, используемых для определения механических характеристик.

Список библиографических ссылок

1. Correia J. R., Valarinho L., Branco F. A. Post-cracking strength and ductility of glass-GFRP composite beams // Composite Structures. 2011. № 93. P. 2299–2309.
2. Correia J. R., Gomes M. M., Pires J. M., Branco F. A. Mechanical behaviour of pultruded glass fibre reinforced polymer composites at elevated temperature: experiments and model assessment // Composite Structures. 2013. № 98. P. 303–313.
3. Cabral-Fonseka S, Correia J. R, Rodrigues M. P., Branco F. A. Artificial accelerated ageing of GFRP pultruded profiles made of polyester and vinylester resins: characterisation of physical-chemical and mechanical damage // Strain. 2012. № 48. P. 162-173.
4. Корецкая Л., Александрова Т. Влияние воды на свойства стеклопластиков // Технологии и материалы. 2011. № 1 (31). С. 38–41.
5. Федоров Ю. Ю., Бабенко Ф. И., Герасимов А. А., Лапий Г. П. Влияние факторов холодного климата на механические свойства композитных стержней из стекло- и базальтопластиков // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 2. С. 56–61.

6. Блазнов А. Н., Савин В. Ф., Атясова Е. В., Бабенко Ф. И., Федоров Ю. Ю. Влияние температуры на прочность базальто- и стеклопластиков // Ползуновский вестник. 2014. № 4. Т. 2. С. 154–159.
7. Каюмов Р. А., Страхов Д. Е., Абдуллин И. Ш., Гришанова И. А., Федорова М. А. Прогнозирование деформации во времени высокопрочных полиэтиленовых волокон при различной температуре // Известия КГАСУ. 2011. № 4 (18). С. 238–242.
8. Каюмов Р. А., Мухамедова И. З., Шакирова А. М., Абдуллин И. Ш., Хамматова В. В. Анализ влияния холодной плазмы на жесткостные характеристики полимерных материалов // Известия КГАСУ. 2010. № 1 (13). С. 302–307.
9. Карапетян К. А. Сопротивление деформированию и разрушению армированных пластиков. Ереван, 2014. 164 с.
10. Стрижиус В. Е. Методы приближенных оценок усталостной долговечности типовых элементов композитных авиаконструкций // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 211 (1). С. 23–28.

Kayumov R.A. – doctor of physical and mathematical sciences, professor

E-mail: kayumov@rambler.ru

Sharafutdinova A.A. – student

E-mail.ru: alina_shara@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

About an estimation of operational durability of building designs from fiberglass

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to develop a methodology for estimating the service life of structural elements made of fiberglass.

Results. A brief review of the work devoted to the study of various factors affecting the reduction in strength of structures made of fiberglass, such as temperature, humidity, UV-radiation, abrasive wear, is given. The results of the experiment on the long-term strength of cantilevered specimens reinforced across the beam axis are presented. Based on the experimental data, the constants of the fiberglass material are determined. The technique and an example of an estimation of service life of a fiberglass beam with a constant load, but variable temperature, as well as an example of calculating the service life taking into account the simultaneous action of a moist environment and a variable temperature is presented.

Conclusions. A technique has been developed that allows to determine the service life of structures made of fiberglass based on experimental data. For this, a modified Zhurkov's theory is used, taking into account that when the static limit of strength is reached, it is possible to obtain the instantaneous destruction condition. To account for the variable temperature, the law of linear summation of damage is used.

Keywords: durability, fiberglass, experiment, aging, temperature effect.

References

1. Correia J. R., Valarinho L., Branco F. A. Post-cracking strength and ductility of glass–GFRP composite beams // Composite Structures. 2011. № 93. P. 2299–2309.
2. Correia J. R., Gomes M. M., Pires J. M., Branco F. A. Mechanical behaviour of pultruded glass fibre reinforced polymer composites at elevated temperature: experiments and model assessment // Composite Structures. 2013. № 98. P. 303–313.
3. Cabral-Fonseka S., Correia J. R., Rodrigues M. P., Branco F. A. Artificial accelerated ageing of GFRP pultruded profiles made of polyester and vinylester resins: characterisation of physical-chemical and mechanical damage // Strain. 2012. № 48. P. 162-173.

4. Koretskaya L., Alexandrova T., Effect of water on the properties of fiberglass. // *Tekhnologii i materialy*. 2011. № 1 (31). P. 38–41.
5. Fedorov Yu. Yu., Babenko F. I., Gerasimov A. A., Lapiy G. P. Influence of Cold Climate Factors on the Mechanical Properties of Composite Rods from Glass and Basalt Plastics // *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovaniye, instrumenty)*. 2012. № 2. P. 56–61.
6. Blaznov A. N., Savin V. F., Atyasova E. V., Babenko F. I., Fedorov Yu. Yu. Effect of temperature on the strength of basalt and fiberglass plastics // *Polzunovsky Vestnik*. 2014. № 4. Т. 2. P. 154–159.
7. Kayumov R. A., Strakhov D. E., Abdullin I. Sh., Grishanova I. A., Fedorova M. A. Forecasting the deformation in time of high-strength polyethylene fibers at different temperatures // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 4. P. 238–242.
8. Kayumov R. A., Mukhamedova I. Z., Shakirova A. M., Abdullin I. Sh., Hammatova V. V. Analysis of the effect of cold plasma on the stiffness characteristics of polymer materials // *Izvestiya KSASU*. 2010. № 1 (13). P. 302–307.
9. Karapetyan K. A. Resistance to deformation and destruction of reinforced plastics. Erevan, 2014. 164 p.
10. Strizhius V. E. Methods of approximate estimations of fatigue life of typical elements of composite aircraft structures // *Nauchnyy vestnik MGTU GA*. 2015. №. 211 (1). P. 23–28.

УДК 624.04

Серазутдинов М.Н. – доктор физико-математических наук, профессор

E-mail: serazmn@mail.ru

Убайдуллоев М.Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: madgidpwn@rambler.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

Расчет стержневых конструкций из упрочняющихся и идеально упругопластических материалов

Аннотация

Постановка задачи. Цель работы – разработка вариационного метода расчета стержневой конструкции с учетом пластических деформаций. Предполагается, что при деформировании стержней связь между нормальными напряжениями и продольной деформацией стержня описывается диаграммой линейно-упрочняющего тела.

Результаты. Разработан вариационный метод расчета стержневых конструкций из упрочняющегося и идеально упругопластического материала. Представленная методика расчета основана на разделении продольной деформации стержня на две части: упругую и пластическую. Достоинства такого подхода заключаются в том, что можно по единой схеме проводить расчеты для стержневых конструкций из упрочняющегося и идеально упругопластического материала. В частности, эти достоинства проявляются при определении предельной нагрузки для системы из идеально упругопластического материала.

Выводы. С использованием предлагаемой методики решены различные задачи изгиба и растяжения-сжатия стержней при упругопластических деформациях. В данной статье представлены результаты расчетов статически неопределимой стержневой системы. Полученные расчетные данные по данному методу согласуются с аналитическими решениями рассматриваемой задачи.

Ключевые слова: стержневые конструкции, вариационный метод, упругопластические деформации, предельная нагрузка.

Излагается вариационный метод расчета стержневой конструкции с учетом пластических деформаций. Предполагается, что при деформировании стержней связь между нормальными напряжениями и продольной деформацией стержня описывается диаграммой линейно-упрочняющего тела. В отличие от исследований [1-9] представленная методика расчета основана на разделении продольной деформации стержня на две части: упругую и пластическую. Достоинства такого подхода заключаются в том, что можно по единой схеме проводить расчеты для стержневых конструкций из упрочняющегося и идеально упругопластического материала. В частности, эти достоинства проявляются при определении предельной нагрузки для системы из идеально упругопластического материала. В случае использования традиционных методик расчета, информацию о величине предельной нагрузки получают только на основе аварийного останова компьютерного счета. При использовании представленной методики, можно определять предельную нагрузку на основе графической информации, получающейся в результате расчетов.

Предполагается, что при упругопластическом деформировании элементов стержневой системы преобладающими являются возникающие в поперечных сечениях нормальные напряжения σ_x . Следовательно, представленные результаты применимы в случаях, когда элементы системы в виде стержней испытывают деформацию растяжения-сжатия и изгиба. В этих случаях, как известно, нормальные напряжения σ_x в поперечных сечениях значительно больше касательных τ .

Диаграмма линейно-упрочняющего тела показана на рис. 1. Модуль упругости материала при упругих деформациях (участок OA на рис. 1) обозначим через E , а при упругопластических деформациях (участок AB) – E_k .

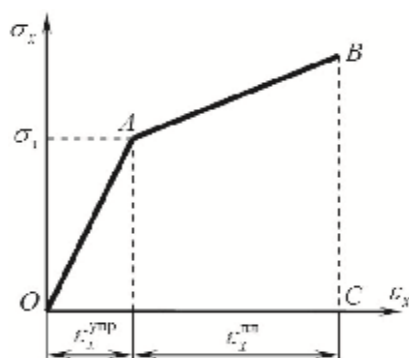


Рис. 1. Диаграмма $s_x = f(e)$

Представим продольную деформацию стержня ϵ_x в виде суммы:

$$e_x = e_x^{yup} + e_x^{npl}, \tag{1}$$

где e_x^{yup} , e_x^{npl} – соответственно, упругая и пластическая деформаций.

Введем коэффициент α , определяющий части этих деформаций:

$$e_x^{yup} = \alpha e_x, \quad e_x^{npl} = (1 - \alpha) e_x. \tag{2}$$

Как видно из рис. 1:

$$s_T = E e_x^{yup} = E \alpha e_x, \tag{3}$$

следовательно:

$$\alpha = \sigma_T / (E \epsilon_x), \tag{4}$$

Очевидно, что при $\epsilon_x < 0$, $\alpha = \sigma_T / (E |\epsilon_x|)$.

Если деформации являются упругими, то $\alpha = 1$ и зависимость между нормальными напряжениями и деформациями выражается законом Гука $s_x^{yup} = E e_x^{yup}$. При упругопластических деформациях ($\alpha < 1$), как видно из рис. 1:

$$s_x = s_T + E_k (e_x - e_x^{yup}).$$

Подставляя в эту формулу соотношения (1), (2), получим:

$$\sigma_x = E^* \epsilon_x, \tag{5}$$

где

$$E^* = E \alpha + E_k (1 - \alpha). \tag{6}$$

Значение приведенного модуля упругости материала E^* зависит от величины деформации ϵ_x . При упругих деформациях $\alpha = 1$, а при упругопластических деформациях $\alpha < 1$ и определяется по формуле (4). В тех случаях, когда величина ϵ_x заранее не известна, для нахождения α следует использовать итерационный метод, последовательно определяя ϵ_x и α .

В случае $E_k = 0$, деформирование материала описывается диаграммой идеально упругопластического тела. Формула (5) для этого случая имеет вид:

$$\sigma_x = E \epsilon_x \alpha. \tag{7}$$

При упругих деформациях касательные напряжения связаны с угловой деформацией законом Гука при сдвиге: $\tau^{yup} = G \gamma^{yup}$, где G – модуль сдвига. Как известно при растяжении прямолинейного стержня зависимость между углом сдвига γ и относительной линейной деформацией ϵ_x имеет следующий вид:

$$\gamma = (1 + \nu) \epsilon_x. \tag{8}$$

Касательное напряжение на площадке, составляющей угол $\alpha = 45^\circ$ с продольной осью стержня O_x , связаны с нормальными напряжениями σ_x формулой:

$$\tau = \sigma_x / 2. \tag{9}$$

С учетом (8)-(9), как известно, получается $G = E / 2(1 + \nu)$.

Соотношения (8) и (9) являются геометрическими и не зависят от того, что деформации являются упругими или пластическими.

Исходя из этого, с учетом (5)-(6), полагаем, что при упругопластических деформациях:

$$\tau = G^* \gamma, \tag{10}$$

где $G^* = \frac{E}{2(1+n)}a + \frac{E_k}{2(1+n^*)}(1-a)$; v^* – коэффициент поперечных деформаций материала при упругопластических деформациях.

В соответствии с диаграммой растяжения (рис. 1), удельная потенциальная энергия деформации стержня при растяжении и сжатии равна площади фигуры $OABC$:

$$u_0 = \frac{1}{2} s_x^{ypp} e_x^{ypp} + s_T e_x^{nn} + \frac{1}{2} s_x^{nn} e_x^{nn} = \frac{1}{2} E (e_x^{ypp})^2 + s_T e_x^{nn} + \frac{1}{2} E_k (e_x^{nn})^2.$$

С учетом (2) получается:

$$u_0 = \frac{1}{2} E a^2 e_x^2 + s_T (1-a) e_x + \frac{1}{2} E_k (1-a)^2 e_x^2.$$

Учитывая, что при вычислении вариации потенциальной энергии деформации следует варьировать величинами e_x и a , находим:

$$d u_0 = E (e_x^2 a da + a^2 e_x de_x) + s_T [(-e_x da + (1-a) d e_x)] + E_k [-e_x^2 (1-a) da + (1-a)^2 e_x de_x]. \quad (11)$$

Используя (2), вычисляем:

$$da = -\frac{s_T}{E e_x^2} de_x = -\frac{a}{e_x} de_x. \quad (12)$$

Подставляя выражение (12) в (11), получаем:

$$d u_0 = s_T de_x + E_k (1-a) e_x de_x. \quad (13)$$

Используя равенство (3), соотношение (13) можно представить в виде:

$$d u_0 = E^* e_x de_x. \quad (14)$$

Аналогично, при возникновении деформации сдвига:

$$d u_0 = G^* g dg. \quad (15)$$

Напряженно-деформированное состояние стержневой конструкции определяется из вариационного уравнения Лагранжа:

$$dU - dW = 0. \quad (16)$$

В данном выражении δU – вариация потенциальной энергии деформации стержневой системы; δW – вариация работы внешних сил.

При определении перемещений стержневой системы из условия (16), используется методика, изложенная в [1].

Для конструкции из линейно-упрочняющего материала:

$$dU = \int_l \left[\iint_A (E^* e_x de_x + G^* g_{xy} dg_{xy} + G^* g_{xz} dg_{xz}) \right] dx, \quad (17)$$

где

$$e_x = \frac{du_1}{dx} - y \frac{df_3}{dx} + z \frac{df_2}{dx}, \quad g_{xy} = \frac{du_2}{dx} - f_3 - z \frac{df_1}{dx}, \quad g_{xz} = \frac{du_3}{dx} + f_2 + z \frac{df_1}{dx}. \quad (18)$$

Подставляя (18) в (17), после преобразований получим:

$$dU = \int_l \left[\iint_A \Phi_1(x, y, z) dA \right] dx. \quad (19)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \Phi_1(x, y, z) = & E^* \left(\frac{du_1}{dx} - y \frac{df_3}{dx} + z \frac{df_2}{dx} \right) d \frac{du_1}{dx} + G^* \left(\frac{du_2}{dx} - f_3 - z \frac{df_1}{dx} \right) d \frac{du_2}{dx} + \\ & + G^* \left(\frac{du_3}{dx} + f_2 + y \frac{df_1}{dx} \right) d \frac{du_3}{dx} + G^* \left(-z \left(\frac{du_2}{dx} - f_3 \right) + (z^2 + y^2) \frac{df_1}{dx} + y \left(\frac{du_3}{dx} + f_2 \right) \right) d \frac{df_1}{dx} + \\ & + E^* \left(z \frac{du_1}{dx} - yz \frac{df_3}{dx} + z^2 \frac{df_2}{dx} \right) d \frac{df_2}{dx} + G^* \left(\frac{du_3}{dx} + f_2 + y \frac{df_1}{dx} \right) d f_2 + \\ & + E^* \left(-y \frac{du_1}{dx} + y^2 \frac{df_3}{dx} - yz \frac{df_2}{dx} \right) d \frac{df_3}{dx} + G^* \left(-\frac{du_2}{dx} + f_3 + z \frac{df_1}{dx} \right) d f_3. \end{aligned} \quad (20)$$

После интегрирования по площади A поперечных сечений стержней условие (16), с учетом (20), принимает вид:

$$\int_l \Phi_1(x) dx = dW, \quad (21)$$

где

$$\begin{aligned}
 \Phi_1(x) = & E^* \left(A \frac{du_1}{dx} - S_z \frac{df_3}{dx} + S_y \frac{df_2}{dx} \right) d \frac{du_1}{dx} + G^* \left(A \frac{du_2}{dx} - Af_3 - S_y \frac{df_1}{dx} \right) d \frac{du_2}{dx} + \\
 & + G^* \left(A \frac{du_3}{dx} + Af_2 + S_z \frac{df_1}{dx} \right) d \frac{du_3}{dx} + G^* \left(-S_y \left(\frac{du_2}{dx} - f_3 \right) + (J_y + J_z) \frac{df_1}{dx} + S_z \left(\frac{du_3}{dx} + f_2 \right) \right) d \frac{df_1}{dx} + \\
 & + E^* \left(S_y \frac{du_1}{dx} - J_{yz} \frac{df_3}{dx} + J_y \frac{df_2}{dx} \right) d \frac{df_2}{dx} + G^* \left(A \left(\frac{du_3}{dx} + f_2 \right) + S_z \frac{df_1}{dx} \right) df_2 + \\
 & + E^* \left(-S_z \frac{du_1}{dx} + J_z \frac{df_3}{dx} - J_{yz} \frac{df_2}{dx} \right) d \frac{df_3}{dx} + G^* \left(-A \left(\frac{du_2}{dx} - f_3 \right) + S_y \frac{df_1}{dx} \right) df_3; \\
 dW = & \int_{l_q} (\tilde{q}_1 d\tilde{u}_1 + \tilde{q}_2 d\tilde{u}_2 + \tilde{q}_3 d\tilde{u}_3) dl + \sum_{i=1}^l (\tilde{F}_{1i} d\tilde{u}_1(x_i) + \tilde{F}_{2i} d\tilde{u}_2(x_i) + \tilde{F}_{3i} d\tilde{u}_3(x_i)) + \\
 & + \sum_{j=1}^J (M_{1j}^{\phi} \phi_{1j}^{\phi}(x_j) + M_{2j}^{\phi} \phi_{2j}^{\phi}(x_j) + M_{3j}^{\phi} \phi_{3j}^{\phi}(x_j)).
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

Здесь $A, S_y, S_z, J_y, J_z, J_{yz}$ – геометрические характеристик сечений элементов стержневой системы; $\tilde{q}_1, \tilde{q}_2, \tilde{q}_3, \tilde{F}_{1i}, \tilde{F}_{2i}, \tilde{F}_{3i}, M_{1j}, M_{2j}, M_{3j}$ – проекции распределенных и сосредоточенных нагрузок на координатные оси $\tilde{O}\tilde{x}, \tilde{O}\tilde{y}, \tilde{O}\tilde{z}$; $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3, \phi_{1j}, \phi_{2j}, \phi_{3j}$ – компоненты вектора перемещения и углов поворота поперечных сечений, определяемых в глобальной системе координат $\tilde{O}\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$.

Для нахождения геометрических характеристик поперечных сечений элементов стержневой конструкции $A, S_y, S_z, J_y, J_z, J_{yz}$ используется численное интегрирование [1, 4].

При определении напряженно-деформированного состояния конструкции с учетом упругопластических деформаций, расчеты необходимо выполнять итерационным методом. На первом шаге итерации в выражении (19) полагается $\alpha = 1$ и размер зоны пластических деформаций $A_{пл} = 0$. Далее, на последующих итерациях, в точках поперечного сечения проверяется выполнение условия $\sigma_x < \sigma_T$. Если это условие выполняется, то $\alpha = 1$ и в данной точке сечения деформации являются упругими. В случае, когда $\sigma_x \geq \sigma_T$, данная точка относится к области пластических деформаций, следовательно $\alpha < 1$. Величина коэффициента α находится по формуле (4).

Итерационный процесс завершается в том случае, если будет выполнено условие:

$$\left(\left| e_{\max}^{(n)} - e_{\max}^{(n-1)} \right| / e_{\max}^{(n)} \right) \cdot 100\% \leq \Delta,$$

где Δ – заданная величина погрешности, $e_{\max}^{(n)}, e_{\max}^{(n-1)}$ – максимальные относительные деформации в сечениях элементов стержневой системы на двух последующих итерациях.

С использованием описанной методики были решены различные задачи изгиба и растяжения-сжатия стержней при упругопластических деформациях. Полученные расчетные данные хорошо согласуются с известными аналитическими решениями.

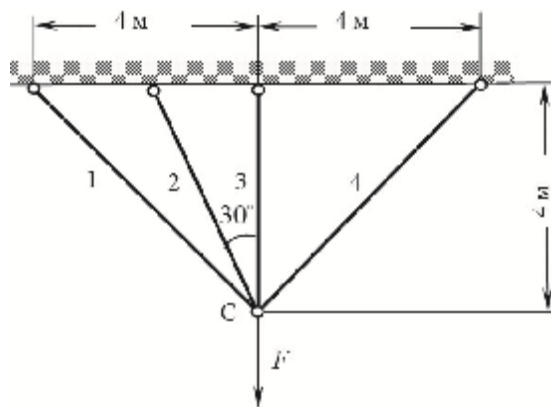


Рис. 2. Стержневая система

Представим результаты расчетов статически неопределимой стержневой системы (рис. 2), полученные по описанной методике. Система нагружена силой F , и состоит из

четырёх стержней с одинаковой площадью поперечного сечения $A = 1 \text{ см}^2$, выполненные из одного материала, для которого $\sigma_T = 240 \text{ МПа}$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $E_k = 0$. Так как $E_k = 0$, то деформирование каждого из стержней описывается диаграммой идеально упругопластического материала (рис. 3). В результате расчетов находилась величина предельной нагрузки $F_{пр}$, при действии которой стержневая система теряет несущую способность. Полагалось $\Delta = 0,001$.

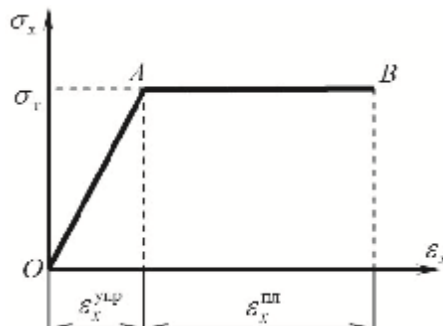


Рис. 3. Диаграмма идеально упругопластического материала

В соответствии с точным решением [10], при $F = F_{упр}$ деформации в стержнях являются упругими, а усилия в стержнях получаются следующими: $N_1 = 0,134F_{упр}$, $N_2 = 0,261F_{упр}$, $N_3 = 0,454F_{упр}$, $N_4 = 0,319F_{упр}$.

Наиболее нагруженным является третий стержень. При $F_{упр} = 52,863 \text{ кН}$ усилие в наиболее нагруженном стержне достигает своего предельного значения $N_3 = \sigma_T A$. Предельное состояние стержневой системы наступает при $N_2 = N_3 = N_4 = \sigma_T A$. В этом случае усилие в первом стержне $N_1 = 0,293\sigma_T A$, а предельная нагрузка, согласно [10], $F_{пр} = 66,725 \text{ кН}$.

При проведении расчетов по представленной здесь методике для определения предельной нагрузки использовалось пошаговое нагружение системы. На первом шаге полагалось, конструкция нагружалась наибольшей силой $F_{упр} = 52,863 \text{ кН}$ при которой деформации в стержнях остаются упругими. Далее, до достижения предельного состояния, шаг нагрузки принимался равным $\Delta F = 1,4725 \text{ кН}$. По результатам расчетов получен график изменения вертикального перемещения узла C стержневой системы в зависимости от величины нагрузки F (рис. 4). С использованием этих данных можно определить предельную нагрузку, которая будет соответствовать горизонтальному (почти горизонтальному) участку графика AB (рис. 4). На этом горизонтальном участке нет однозначного соответствия между w_C и F . Эта особенность отражает тот факт, что для идеально упругопластического материала при достижении предела текучести нет однозначного соответствия между σ и ϵ (линия AB на рис. 3). Поэтому при наступлении в стержневой системе предельного состояния также не будет однозначного соответствия между предельной нагрузкой и перемещениями в системе.

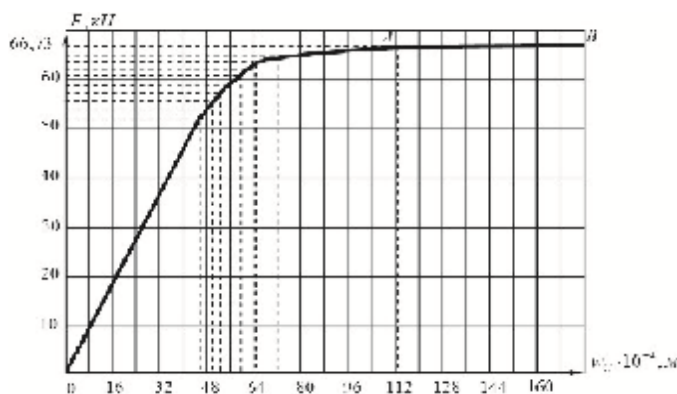


Рис. 4. Зависимость вертикального перемещения узла C от силы

При расчетах в качестве предельной нагрузки принимается такое значение силы F , для которого на очередном шаге нагружения для малого приращения нагрузки ΔF получается достаточно значительное возрастание величины перемещения (по сравнению с приращением, полученным на предыдущем шаге).

В рассматриваемом случае (рис. 4), нагрузке $F = 65,26 \text{ кН}$ соответствует перемещение $w_c = 73 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, а нагрузке $F = 66,73 \text{ кН}$ соответствует $w_c = 114 \cdot 10^{-4} \text{ м}$. Следовательно, на этом шаге нагружения, увеличение силы на величину $\Delta F = 1,4725 \text{ кН}$ (на 2,3 %) приводит к значительному возрастанию (более чем на 55 %) перемещения w_c . На предыдущих шагах нагружения такого не наблюдается. Поэтому в качестве значения предельной нагрузки принимается $F_{пр} = 66,73 \text{ кН}$. Эта величина практически совпадает со значением $F_{пр}$, определенным аналитическим методом [10].

В таблице представлены результаты расчетов предложенным вариационным и аналитическим методом [10]. Как видно из числовых данных, результаты этих расчетов различаются очень незначительно.

Таблица

Результаты расчетов различными методами

| Метод расчета | Усилия в стержнях в предельном состоянии, кН | | | | Деформации стержней, м | | | | Предельная нагрузка $F_{пр}$, кН |
|------------------|--|-------|-------|-------|------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|
| | N_1 | N_2 | N_3 | N_4 | Δl_1 | Δl_2 | Δl_3 | Δl_4 | |
| Аналитич. метод | 7,029 | 24,0 | 24,0 | 24,0 | 0,0199 | -0,0055 | -0,0113 | -0,014 | 66,725 |
| Вариацион. метод | 7,037 | 24,0 | 23,95 | 23,95 | 0,0199 | -0,0055 | -0,0113 | -0,014 | 66,730 |

График на рис. 4 наглядно иллюстрирует одно из достоинств представленной методики расчета, которая предполагает разделение продольной деформации стержня на упругую и пластическую часть (1) и введение коэффициента α , определяющий части этих деформаций (2), (4). В результате, на основе расчетов получаются графики, позволяющие, в частности, определять для стержневых конструкций из идеально упругопластического материала предельную нагрузку. Как известно, в случае использования традиционных методик расчета, информацию о величине предельной нагрузки получают только на основе аварийного останова компьютерного счета. Информация о деформировании системы в виде графиков подобных графику на рис. 4, является более надежной, чем аварийный останов компьютерного счета.

Список библиографических ссылок

1. Серазутдинов М. Н., Убайдуллоев М. Н. Вариационный метод расчета прямолинейных и криволинейных тонкостенных стержней. Казань : Мин. обр. и науки России. Казан. нац. исслед. технол. ун-т, 2016. 144 с.
2. Серазутдинов М. Н., Убайдуллоев М. Н., Сагдатуллин М. К. Вариационный метод расчета напряженно-деформированного состояния тонкостенного стержня открытого профиля // Вестник Казанского технол. ун-та. 2014. № 8. С. 255–260.
3. Серазутдинов М. Н., Убайдуллоев М. Н., Абрагим Х. А. Вариационный метод расчета стержневых систем при пластических деформациях : сб. трудов Международной научно-технической и образовательной конференции «Образование и наука – производству» / КГИЭА, Набережные Челны, 2010. С. 43–46.
4. Серазутдинов М. Н., Убайдуллоев М. Н., Абрагим Х. А. Повышение несущей способности усиливаемых нагруженных конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 3. С. 23–30.
5. Nagy-Györgya T., Sasb G., Dăescu A.C., Stoian V. Experimental and numerical assessment of the effectiveness of FRP-based strengthening configurations for dapped-end RC beams // Engineering Structures. 2012. Т. 33, Т. 44. Р. 291–303.
6. Iskhakov I., Ribakov Y. Ultimate limit state of pre-stressed reinforced concrete elements // Materials & Design. 2015. Т. 75. Р. 9–16.
7. Убайдуллоев М. Н. Повышение несущей способности эксплуатируемых сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 4 (9). С. 64–122.

8. Валиуллин А. Х. Упругопластический изгиб балки из материала с линейным упрочнением // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 9. С. 453–458.
9. Валиуллин А. Х. Упругопластический изгиб балки // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 21. С. 221–224.

Serazutdinov M.N. – doctor of physical and mathematical sciences, professor

E-mail: serazmn@mail.ru

Ubaidulloyev M.N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: madgidpwn@rambler.ru

Kazan National Research Technological University

The organization address: 420015, Russia, Kazan, K. Marks st., 68

Calculation of rod structures from reinforcing and ideally elastic-plastic materials

Problem statement. The purpose of this work is the development of a variational method for calculating a rod structure taking into account plastic deformations. It is assumed that when the rods are deformed, the relationship between the normal stresses and the longitudinal deformation of a rod is described by the diagram of a linearly strengthening body.

Results. A variational method has been developed for calculating the rod structures from a reinforcing and ideally elastic-plastic material. The presented calculation technique is based on the separation of longitudinal deformation of a rod into two parts: elastic and plastic. The advantages of this approach consist in the fact that it is possible to carry out calculations for rod structures from a reinforced and ideal elastic-plastic material according to a single scheme. In particular, these advantages are manifested when determining the ultimate load for a system of perfectly elasto-plastic material.

Conclusions. Using the described technique, various problems of bending and stretching-compression of rods for elasto-plastic deformations were solved. In this article presents the results of calculations of a statically indeterminate rod system. The obtained calculated data are in good agreement with known analytical solutions.

Keywords: rod structures, variational method, elasto-plastic deformations, ultimate load.

References

1. Sezrutdinov M. N., Ubaidulloev M. N. Variational method for calculating rectilinear and curvilinear thin-walled rods. Kazan : Ministry of Education and Science of Russia. Nat. Research Technol. Un-t., 2016. 144 p.
2. Sezrautdinov M. N., Ubaidulloev M. N., Sagdatullin M. K. Variational method for calculating the stress-strain state of a thin-walled rod of an open profile // Vestnik Kazanskogo tekhnol. un-ta. 2014. № 8. P. 255-260.
3. Sezrutdinov M. N., Ubaidulloev M. N., Abraham Kh. A. Variational method for calculating rod systems under plastic deformations : dig. of art. International Scientific, Technical and Educational Conference «Education and Science to Production» / KGIEA, Naberezhnye Chelny, 2010. P. 43–46.
4. Sepradinov M. N., Ubaidulloev M. N., Abraham Kh. A. Increase of load-bearing capacity of reinforced loaded structures // Construction mechanics of engineering structures and structures. 2011. № 3. P. 23–30.
5. Nagy-Györgya T., Sasb G., Dăescua A.C., Stoian V. Experimental and numerical assessment of the effectiveness of FRP-based strengthening configurations for dapped-end RC beams // Engineering Structures. 2012. T. 33, T. 44. P. 291–303.
6. Iskhakov I., Ribakov Y. Ultimate limit state of pre-stressed reinforced concrete elements // Materials & Design. 2015. T. 75. P. 9–16.
7. Ubaidulloev M. N. Increase of bearing capacity of operated structures // Construction of unique buildings and structures. 2013. № 4 (9). P. 64–122.
8. Valiullin A. Kh. Elastic-plastic bending of the beam from a material with linear hardening // Vestnik Kazanskogo tekhnol. un-ta. 2010. № 9. P. 453–458.
9. Valiullin A. Kh. Elastic-plastic bending of the beam // Vestnik Kazanskogo tekhnol. un-ta. 2013. № 21. P. 221–224.

УДК 624.044:539.383

Симаков В.Д. – аспирант

E-mail: VasiliiSimakov86@mail.ru

Никитин Г.П. – 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

Теоретические основы трещиностойкости железобетонных колонн в контактных стыках

Аннотация

Постановка задачи. Контактные стыки, в состав которых входят железобетонные колонны, широко распространены в строительстве. Проведенные многофакторные теоретические, численные и экспериментальные исследования, так же как и исследования отдельных российских и зарубежных авторов, указывают на необходимость выполнения проверки оголовков железобетонных колонн по образованию и раскрытию трещин в контактных стыках. Это согласуется с нормативными требованиями, согласно которым все строительные конструкции необходимо рассчитывать по двум группам предельных состояний. Однако, несмотря на то, что стыки являются наиболее ответственной частью конструкции, для них в настоящее время отсутствует подобный подход. Поэтому, целью работы ставится создание методики оценки трещиностойкости железобетонных колонн в контактных стыках.

Результаты. В статье приводятся основы теоретических исследований по трещиностойкости зоны смятия железобетонных колонн в контактных стыках, усиленной сетками косвенного армирования. Приведенные положения проверены методами компьютерного моделирования и экспериментально, а так же результатами исследований других ученых.

Выводы. Представленные данные можно использовать при создании методики, позволяющей выполнить расчеты по образованию и по раскрытию трещин железобетонных колонн в контактных стыках.

Ключевые слова: теоретические основы, методика, железобетонная колонна, контактный стык, образование и раскрытие трещин, теория силового сопротивления анизотропных материалов сжатию, нелинейная деформационная модель.

Введение

Контактные стыки объединены общим принципом передачи сжимающих усилий через грузовую площадку ограниченной площади (рис. 1а). При обследовании технического состояния зданий и сооружений, часто фиксируется наличие вертикальных трещин в оголовках железобетонных колонн контактных стыков. Колонна, при этом, в течение длительного времени находится под нагрузкой без разрушения. Такие повреждения зафиксированы как специалистами по обследованию (рис. 1г), так и отмечены в литературе [1, 2, 8] по строительству (рис. 1д, е). При расчете несущей способности таких стыков, в нормах разных стран [3, 4], в том числе и России, использован один и тот же подход, основанный на оценке прочности бетона при сжатии с учетом разгружающего влияния незагруженной части сечения («эффект обоймы»). В СП 63.13330.2012 этот подход представлен расчетом на местное сжатие (рис. 1б). Однако, строительные конструкции предписано рассчитывать по двум группам предельных состояний, но для стыков нормами расчет по II-й группе предельных состояний не предусмотрен. Тем не менее, стыки – наиболее ответственные элементы любой конструкции, именно с них начинается разрушение, и именно они обеспечивают конструкционную безопасность всего каркаса.

Указанные обстоятельства обуславливают необходимость в создании методики расчета контактных стыков по образованию и раскрытию трещин, что позволит обеспечить более эффективный расход материалов при проектировании, повысит конструкционную

безопасность зданий, а так же позволит установить остаточную несущую способность существующих стыков с уже образовавшимися трещинами в процессе эксплуатации. Подобный расчет необходим и при реконструкции, т.к. при ней нагрузка на колонны иногда возрастает, что может спровоцировать появление и развитие новых трещин.

Основы теоретических исследований

Проанализированные доступные существующие авторские подходы (В.А. Червонобаба, Б.М. Гладышев, М.М. Мирмунинов, И.С. Ульбиева) по оценке трещиностойкости стыков носят эмпирический характер, не отражающие фактического НДС, и подходят для узкого диапазона использования, кроме того, в них отсутствуют предложения к расчету стыков по раскрытию трещин. Следовательно, они нуждаются в доработке.

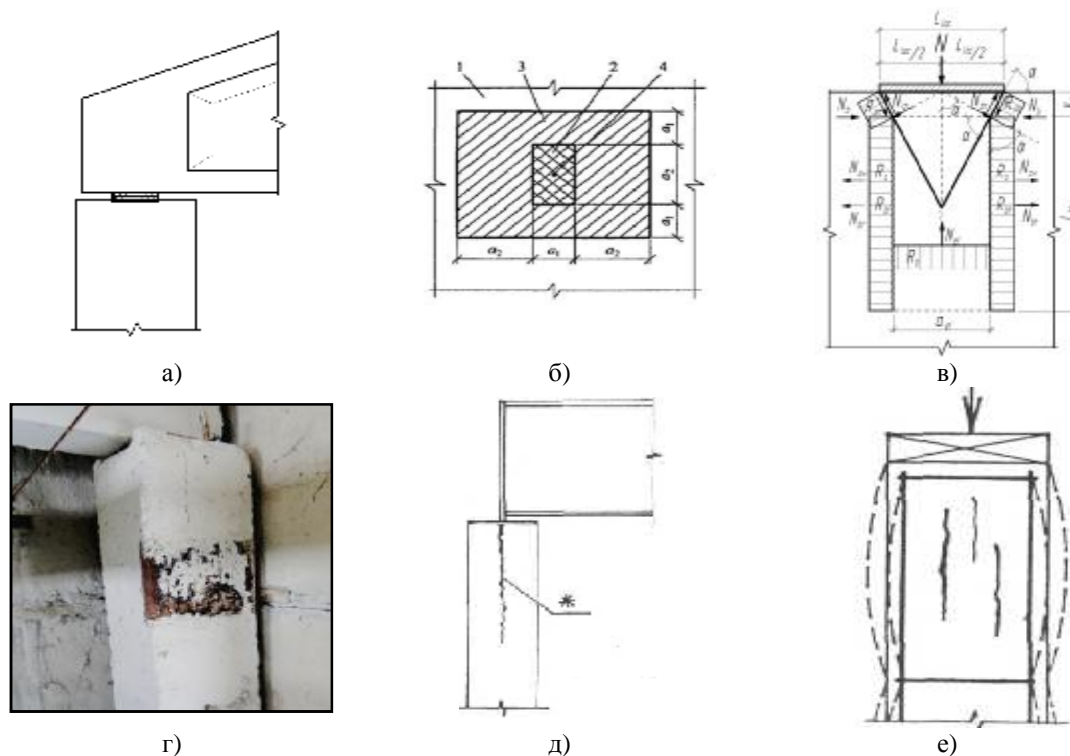


Рис. 1. Железобетонные колонны в контактных стыках:

- а – стык колонны со стропильной балкой; б – расчет на местное смятие по СП 63.13330.2012;
- в – расчетная модель сопротивления зоны смятия по положениям ТССАМС;
- г – оголовок с трещиной, выявленный при обследовании;
- д, е – повреждения оголовков колонн, приведенные в работах Габрусенко В.В.

Известно, что контактные стыки испытывают сложное НДС. Разрушение зоны смятия вызывается уплотнением бетона в виде клина под грузовой площадкой, который внедряется в тело элемента и «разрывает» его изнутри. Косвенная арматура препятствует поперечному расширению и повышает несущую способность. Поэтому, для решения поставленной задачи, выдвинута гипотеза, согласно которой оценка трещиностойкости железобетонных колонн в контактных стыках может быть дана при совместном использовании нелинейной деформационной модели (НДМ, автор – проф. А.С. Залесов) и теории силового сопротивления анизотропных материалов сжатию (ТССАМС, автор – проф. Б.С. Соколов).

Согласно ТССАМС [5], на несущую способность оказывает влияние большое число факторов, а разрушение происходит от преодоления сопротивления бетона отрыву, сдвигу и раздавливанию (рис. 1в). Положения ТССАМС наглядно характеризуется это сложное НДС стыка, в то время как НДМ отражает зависимость между напряжениями и деформациями. Диаграммы деформирования, составленные на основе НДМ, могут быть применены как в зоне отрыва, сдвига и раздавливания, так и для растянутой косвенной арматуры. НДМ представлена в действующих нормах в виде двухлинейных и

трехлинейных диаграмм деформирования при сжатии и растяжении, которые принимаются в данной работе за базовые. Диаграмму поперечного деформирования в зоне отрыва можно построить из диаграммы сжатия используя коэффициент поперечных деформаций ($\nu_{b,p}$). Диаграмма для среза так же выводится из диаграммы сжатия по формулам сопротивления материалов. При этом необходимо учитывать, что согласно исследованиям И.А. Узуна, Н.И. Карпенко, Ф.Х. Ахметзянова [6], до момента образования трещин $\nu_{b,p} = 0,2$, а на момент разрушения $\nu_{b,p} = 0,5$.

Испытания бетонных фрагментов колонн, представленные в работе английского ученого A.S. Williams, показали, что при определенных сочетаниях размеров поперечного сечения колонны (a) и грузовой площадки (L_{loc}), даже простой бетонный образец без косвенной арматуры продолжает воспринимать возрастающую нагрузку после образования первых трещин. То, что разрушение начинается не сразу, а по мере накопления трещин, подтверждается и исследованиями других ученых. Это позволило предположить, что на диаграмме поперечного деформирования, еще до разрушения, может быть определена некоторая точка (рис. 2а), которая будет соответствовать моменту образования трещин. Т.к. диаграммы отрыва, сдвига и раздавливания взаимосвязаны, то искомая точка будет присутствовать на каждой из них.

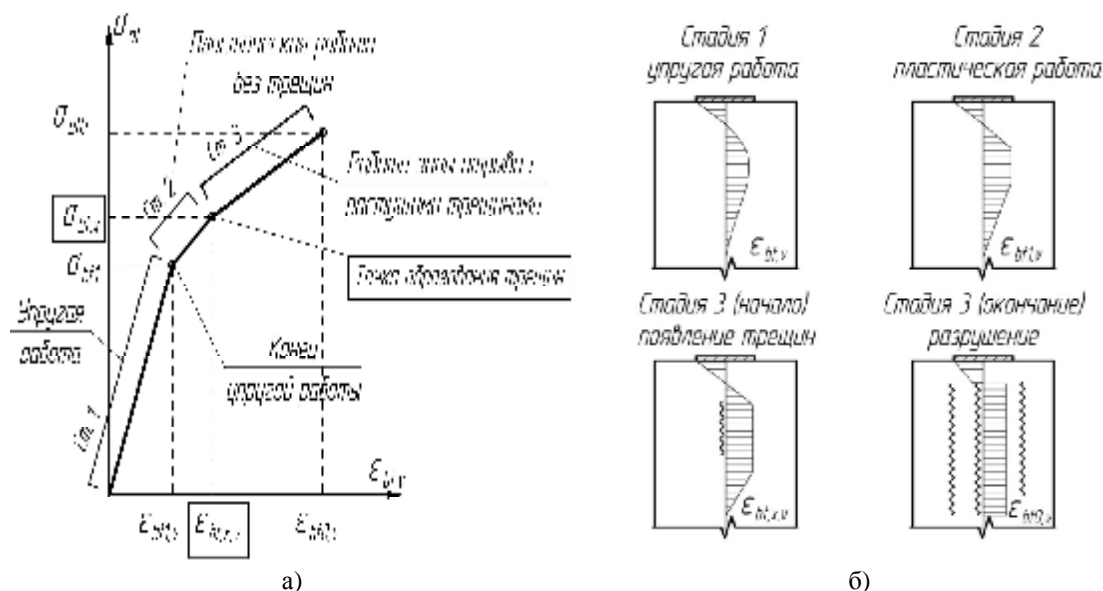


Рис. 2. Схемы поперечного деформирования оголовка железобетонной колонны при сжатии: а – диаграмма поперечного деформирования; б – стадии НДС при возрастающей нагрузке

Работа оголовка железобетонной колонны под нагрузкой может быть разбита на три стадии (рис. 2б):

– Стадия 1. Бетон и арматура в растянутой зоне работают совместно и упруго. На диаграмме рис. 2а это соответствует участку « $\sigma_{bt1}-\epsilon_{bt1,v}$ » (символ «v» здесь условно обозначает действие в поперечном направлении);

– Стадия 2. С увеличением нагрузки бетон начинает работать пластично, и при некоторых значениях « $\sigma_{bt,x}-\epsilon_{bt,x,v}$ » (символ «x» условно обозначает неизвестную величину в данном исследовании) возникают первые трещины в растянутой зоне. На графике эта точка будет соответствовать моменту образования трещин и поможет определить усилие образования трещин (N_{cr}). В представленной статье представлен теоретический метод её определения. В работах она проверяется как компьютерными методами [8], так и физическими экспериментами [9].

– Стадия 3. Соответствует работе оголовка колонны с развивающимися трещинами. Он продолжает воспринимать возрастающую нагрузку за счет наличия косвенной арматуры и участков бетона без трещин. Рост трещин наблюдается вплоть до разрушения, когда происходит полное выключение из работы бетона в растянутой зоне

при достижении предельных относительных поперечных деформаций. На рис. 2а конец этой стадии соответствует точке « $\sigma_{bt0}-\varepsilon_{bt0,y}$ » при максимальной сжимающей силе (N_{max}).

Одновременно, зоны сдвига и раздавливания испытывают аналогичные стадии, т.к. их диаграммы деформирования взаимосвязаны и выводятся одна из другой. Основываясь на сказанном выше, при создании методики расчета трещиностойкости контактных стыков были решены следующие теоретические задачи:

- 1) Определена точка « $\sigma_{bt,x}-\varepsilon_{bt,x,y}$ » на диаграмме деформирования (рис. 2а);
- 2) Определено N_{crc} при « $\sigma_{bt,x}-\varepsilon_{bt,x,y}$ »;
- 3) Определено N_{max} при « $\sigma_{bt0}-\varepsilon_{bt0,y}$ »;
- 4) Определена ширина трещин (a_{crc}) от внешней фактической сжимающей силы ($N_{факт}$), которая может изменяться в диапазоне от N_{crc} до N_{max} .

При решении первой задачи, положение точки « $\sigma_{bt,x}-\varepsilon_{bt,x,y}$ » определяется из отношения объема эпюры напряжений при упруго-пластичной работе в форме трапеции (рис. 2б – стадия 2) к объему эпюры напряжений в предельном состоянии в форме прямоугольника (рис. 2б – стадия 3 окончание). Эпюра упруго-пластичной работы составлена по результатам испытаний стыков, выполненных Р.Р. Латыповым совместно с Б.С. Соколовым [5], и рекомендациям, изложенным в «Кратких заметках» А.С. Залесова. Согласно этим рекомендациям, форма эпюры напряжений зависит от ключевых точек на диаграмме деформирования в зависимости от класса бетона. Прямоугольная эпюра зоны отрыва в предельном состоянии, принимается по положениям ТССАМС [5]. В расчетах положение искомой точки (решение задачи 1) определяется коэффициентом (k_x), который приводит предельную прочность стыка к нагрузке, при которой образуются первые трещины.

$$k_x = \frac{V_{\text{трапеции}}}{V_{\text{прямоугольника}}} = \frac{\sigma_{bt,x}}{\sigma_{bt,0}} = \frac{\varepsilon_{bt,x,y}}{\varepsilon_{bt0,y}} \quad (1)$$

В зависимости от размеров (L_{loc}) и расположения грузовой площадки на колонне (e_0), расчетная схема, характеризующая положение расчетных зон может изменяться. Поставленные задачи 1-4 для этих схем решаются одинаково, но с разными величинами расчетными сопротивлениями зон отрыва, сдвига и раздавливания. Расчетные схемы для трех случаев, принятые на основании положений ТССАМС, представлены на рис. 3. В них передача сжимающей нагрузки осуществляется через грузовую площадку, расположенную:

- на оси колонны (рис. 3а);
- с эксцентриситетом относительно оси колонны (рис. 3б);
- на краю поперечного сечения (рис. 3в).

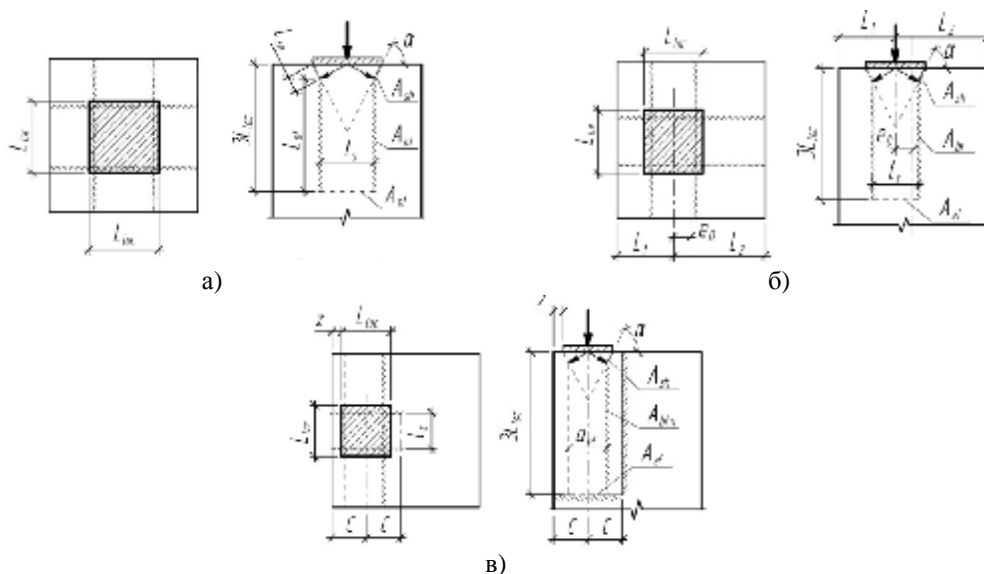


Рис. 3. Схемы сопротивления контактных стыков при расчете по образованию и раскрытию трещин: а – сжатие по оси колонны; б – сжатие с эксцентриситетом; в – сжатие на краю поперечного сечения

Поперечные деформации бетона в зоне отрыва, при которых возникают первые трещины, определяются по формуле:

$$\varepsilon_{bt,x,v} = k_x \cdot \varepsilon_{b0} \cdot v_{b,p} \tag{2}$$

Напряжение в косвенной арматуре при этом определяется из условия её совместных деформаций с бетоном по формуле:

$$\sigma_{sw.bt,x} = \varepsilon_{bt,x,v} \cdot E_s \tag{3}$$

С учетом приведенного, условие прочности ТССАМС может быть перестроено в условие трещиностойкости стыка (решение задачи 2) в следующем виде:

$$N_{crc} = \frac{(N_{bt,x} + N_{sw.bt,x}) \cdot \cos\alpha + 2N_{sh,x}}{\sin\alpha} + N_{ef,x} \tag{4}$$

где $N_{bt,x} = N_{bt} \times k_x$; $N_{sh,x} = N_{sh} \times k_x$; $N_{ef,x} = N_{ef} \times k_x$ – сопротивления зон отрыва, сдвига и раздавливания на момент образования трещин соответственно. N_{bt} , N_{sh} , N_{ef} – сопротивления зон отрыва, сдвига и раздавливания в предельном состоянии, определяемые по положениям ТССАМС; $N_{sw.bt,x} = \sigma_{sw.bt,x} \times A_{sw}$ – усилие, воспринимаемое косвенной арматурой при образовании трещин, зависящее только от площади поперечного сечения арматуры (A_{sw}) и не зависящее от класса стали.

При сжатии с эксцентриситетом (рис. 3б) перед скобкой в формуле (4) вводится понижающий коэффициент (k_e), который определяется аналогично k_x из соотношения объемов эпюр напряжений в зоне отрыва. При приложении нагрузки на край поперечного сечения (рис. 3в), площадь отрыва определена при совмещении результатов [7] исследований нескольких работ: Р.Р. Латыпова, Б.С. Соколова [5], И.С. Ульбиевой, К.S. Elliott.

С дальнейшим увеличением сжимающей нагрузки, по мере развития трещин, бетон в зоне отрыва из работы постепенно исключается, и растягивающие напряжения в большей степени воспринимаются косвенной арматурой. Разрушение оголовка колонны происходит в зоне отрыва в момент исчерпания прочности бетона на растяжение и достижения по всей зоне отрыва предельных поперечных деформаций ($\varepsilon_{bt0,v}$) при $v_{b,p} = 0,5$ и сжимающей силе N_{max} . Условие прочности (решение задачи 3) записывается по ТССАМС при сопротивлениях расчетных зон, определенных по схемам на рис. 3:

$$N_{max} = \frac{(N_{bt} + N_{sw.bt0}) \cdot \cos\alpha + 2N_{sh}}{\sin\alpha} + N_{ef} \tag{5}$$

где $N_{sw.bt0} = \sigma_{sw.bt0} \times A_{sw} = \varepsilon_{bt0} \times v_{b,p} \times E_s \times A_{sw}$ – усилие, воспринимаемое косвенной арматурой на момент разрушения. После разрушения бетон в зоне отрыва теряет несущую способность и напряжения в косвенной арматуре ($\sigma_{sw,max}$) определяются из условия:

$$\sigma_{sw,max} = \frac{(N_{max} - N_{ef}) \cdot \sin\alpha - 2N_{sh}}{A_{sw} \cdot \cos\alpha} \tag{6}$$

Ширина раскрытия трещин при этом, с учетом определенного по рис.3 расстояния между ними (l_s), определяется по формуле:

$$a_{crc,max} = \varphi \cdot \psi_s \cdot \frac{(\sigma_{sw,max} - \sigma_{sw,bx})}{E_s} \cdot l_s \tag{7}$$

Формула (7) принята с учетом [5], где $\psi_s = 1 - \omega \times N_{bt}/N$ – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами; φ – коэффициент, принимаемый по СП 63.13330.2012 и учитывающий профиль арматуры.

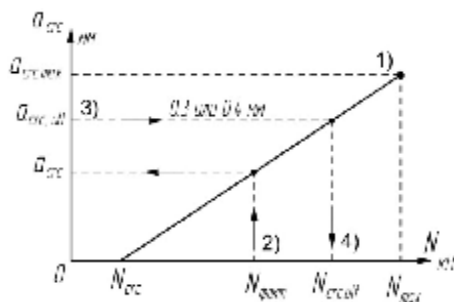


Рис. 4. График зависимости ширины раскрытия трещин от величины сжимающей силы

Значения N_{max} и $a_{crc,max}$ при оценке трещиностойкости носят вспомогательный характер и служат для решения задачи 4 при построении графика зависимости ширины раскрытия трещин от величины сжимающей силы « $N - a_{crc}$ » (рис. 4).

На графике при сжимающей силе N_{crc} величина $a_{crc}=0$, а при N_{max} – соответствующая ширина трещины $a_{crc,max}$. Ширина раскрытия трещин от фактической нагрузки ($N_{факт}$), которая может быть больше чем N_{crc} , но меньше чем N_{max} , определяется графически или интерполяцией по формуле:

$$a_{crc} = \frac{(N_{факт} - N_{crc}) \cdot a_{crc,max}}{(N_{max} - N_{crc})} \leq [a_{crc,ult}]. \quad (8)$$

Сравнивая полученное значение a_{crc} с $[a_{crc,ult}]$ (0,3 или 0,4 мм, в зависимости от длительности действия нагрузки), делается вывод о соответствии стыка требованиям эксплуатационной пригодности. При этом напряжения в арматуре не должны превышать предела текучести:

$$\sigma_{sw} = \sigma_{sw,bt,x} + \frac{a_{crc} \cdot E_s}{l_s \cdot \varphi} \leq R_{s,n}. \quad (9)$$

Предельное сжимающее усилие, удовлетворяющее (9), определяется по формуле так же полученной интерполяцией, т.к. при разрушении $\sigma_{sw,max}$ всегда больше $R_{s,n}$:

$$N_{crc,ult} = N_{crc} + \frac{(N_{max} - N_{crc})(R_{s,n} - \sigma_{sw,bt,x})}{(\sigma_{sw,max} - \sigma_{sw,bt,x})}. \quad (10)$$

Представленные теоретические основы исследования использованы при создании методики расчета оголовков железобетонных колонн в контактных стыках по образованию и раскрытию трещин. Выдвинутые гипотезы и расчетные выражения подтверждены численными [8] и экспериментальными [9] исследованиями, в ходе которых был откорректирован коэффициент k_x (рис. 2), метод его определения (1) и расчетные схемы [10] сопротивления стыков (рис. 3).

Заключение

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что представленная работа обладает требуемыми актуальностью, научной новизной и практической значимостью:

1. Актуальность заключается в том, что для стыков, являющихся элементами наиболее ответственными с точки зрения конструкционной безопасности, предложенная оценка трещиностойкости позволяет обеспечивать выполнение нормативных требований, согласно которым расчет железобетонных элементов необходимо выполнять по двум группам предельных состояний.

2. Научная новизна работы заключается в совместном использовании нелинейной деформационной модели (НДМ) и теории силового сопротивления анизотропных материалов сжатию (ТССАМС).

3. Практическая значимость заключается в возможности разработки единой методики оценки трещиностойкости стыков различной конфигурации и совершенствовании оценки технического состояния стыков с уже имеющимися трещинами при обследовании.

Список библиографических ссылок

1. Плевков В. С., Балдин И. В., Гончаров М. Е. Восстановление несущей способности железобетонного каркаса кардиологического центра в г. Кемерово // Предотвращение аварий зданий и сооружений. PREVDIS.RU : ежемес. интернет-изд. 2010. № 3 URL: <http://prevdis.ru/vosstanovlenie-nesushhej-sposobnosti-zhelezobetonnoego-karkasa-kardiologicheskogo-tsentra-v-g-kemerovo> (дата обращения: 02.15.2017).
2. Yu J., Yu K., Shang X., Lu Z. New Extended Finite Element Method for Pinching Effect in Reinforced Concrete Columns // ACI Structural Journal. 2016. № 113-04. P. 689–699.
3. Биби Э. В., Нараянан Р. С. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 2: Проектирование железобетонных конструкций. М. : МГСУ, 2013. 291 с.

4. Bonetti R., Wollmann R., Santos J. T. Bearing strength of confined concrete // *ACI Structural Journal*. 2015. № 111-06. P. 1317–1328.
5. Соколов Б. С. Теория силового сопротивления анизотропных материалов сжатию и ее практическое применение. М. : АСВ, 2011. С. 16–26, 125–127.
6. Ахметзянов Ф. Х. Диаграммы напряжения и деформации бетона и их использование для определения параметров и критериев повреждаемости при кратковременном и продолжительном нагружениях бетонных и железобетонных элементов (часть 1) // *Известия КГАСУ*. 2010. № 1 (14). С. 89–95.
7. Talley K. G., Kapitan J. G., Breen J. E. Method for approximation of ASR/DEF damage in concrete columns // *ACI Structural Journal*. 2016. № 113-01. P. 105–110.
8. Никитин Г. П., Симаков В. Д. Расчет контактных стыков колонн по образованию и раскрытию трещин : сб. ст. Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры и 100-летию со дня рождения Попова Н.Н. Современные проблемы расчета железобетонных конструкций зданий и сооружений на аварийные воздействия / НИУ МГСУ. Москва, 2016. С. 290–296.
9. Симаков В. Д. Трещиностойкость контактных стыков колонн // *Известия КГАСУ*. 2016. № 4 (38). С. 248–254.
10. Никитин Г. П., Симаков В. Д. Расчет горизонтальных контактных стыков колонн при сжатии по образованию и раскрытию трещин : сб. ст. VII Всероссийской (II Международной) конференции НАСКР 2014 / ЧГУ. Чебоксары, 2014. С. 155–160.

Simakov V.D. – post-graduate student

E-mail: VasiliiSimakov86@mail.ru

Nikitin G.P. – 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, st., 1

Theoretical basis of resistance to cracking of concrete columns in the contact joints

Abstract

Problem statement. Contact joints which include of reinforced concrete columns are common in the construction. The theoretical, numerical and experimental studies, as well as the case studies of Russian and foreign authors Indicate the need to verify the heads of reinforced concrete columns by the formation and opening of cracks in the contact junctions. This is consistent with the regulatory requirements, according to which all building structures must be calculated by two groups of limit states. However, in spite of the fact that the joints are the most responsible part of the design, for them there is currently no such approach. Therefore, the aim of the work is to create a methodology for assessing the fracture toughness of reinforced concrete columns in contact junctions.

Results. The paper presents the basics of theoretical studies on the fracture toughness of the zone of crushing of reinforced concrete columns in contact junctions reinforced with indirect reinforcement meshes. The above provisions have been verified by computer simulation methods and experimentally, as well as by the results of research by other scientists.

Conclusions. The presented data can be used to create a methodology that allows for calculations on education and on the disclosure of cracks in reinforced concrete columns in contact junctions.

Keywords: theoretical basis, methodology, reinforced concrete column, a contact joint, initiation of cracks, crack opening, the power of resistance of concrete compression theory, nonlinear deformation model.

References

1. Plevkov V. S., Baldin I. V., Goncharov M. E. Rehabilitation of the bearing capacity of the reinforced concrete skeleton of the cardiological center in Kemerovo // Prevention of accidents of buildings and structures. PREVDIS.RU: monthly online edition. 2010. № 3 URL: <http://prevdis.ru/vosstanovlenie-nesushhej-sposobnosti-zhelezobonnogo-karkasa-kardiologicheskogo-tsentra-v-g-kemerovo> (reference date: 02.15.2017).
2. Yu J., Yu K., Shang X., and Lu Z. New Extended Finite Element Method for Pinching Effect in Reinforced Concrete Columns // ACI Structural Journal. 2016. № 113-04. P. 689–699.
3. Bibi E. V., Narayanan R. S. Guide for designers to Eurocode 2: Design of reinforced concrete structures. M. : MGSU, 2013. 291 p.
4. Bonetti R., Wollmann R., Santos J. T. Bearing strength of confined concrete // ACI Structural Journal. 2015. № 111-06. P. 1317–1328.
5. Sokolov B. S. The theory of the power of resistance the anisotropic material to compression and its practical application. M. : ASV, 2011. P. 16–26, 125–127.
6. Akhmetzyanov F. Kh. Pressure and deformation concrete diagrammes (σ - ϵ) and their use for definition of parametres and criteria of damageability at short-termand long loading of concrete and ferro-concrete elements (part 1) // Izvestiya KGASU. 2010. № 1 (14). P. 89–95.
7. Talley K. G., Kapitan J. G., Breen J. E. Method for approximation of ASR/DEF damage in concrete columns // ACI Structural Journal. 2016. № 113-01. P. 105–110.
8. Nikitin G. P., Simakov V. D. Calculation of the columns in the horizontal contact joints under compression by the appearance and disclosure of cracks : dig. of art. International scientific conference devoted to the 85th anniversary of the department and the 100th anniversary of the birth of N. Popov. Current problems in the calculation of reinforced concrete structures of buildings and structures on the emergency action / NRU MGSU. Moscow, 2016. P. 290–296.
9. Simakov V. D. Crack resistance in the contact joints of columns // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 248–245.
10. Nikitin G. P., Simakov V. D. Calculation of horizontal contact joints columns under compression by the appearance of cracks and disclosure : dig. of art. VII All-Russian (II International) Conference NASKR 2014 / ChGU. Cheboksary, 2014. P. 155–160.

УДК 624.078

Хайдаров Л.И. – аспирант

E-mail: haidarov_lenar@mail.ru

Шмелев Г.Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: gn.shmelev@mail.ru

Зиятдинов Э.К. – студент

E-mail: ziyatdinov-imil@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Построение расчетных схем мобильных пространственных стержневых конструкций, моделирующих их действительную работу

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлось определение основных факторов, влияющих на работу мобильных пространственных стержневых конструкций.

Результаты. Изучено влияние схем закрепления элементов в узловых соединениях и грунтового основания на работу пространственных мобильных стержневых конструкций.

Выводы. По результатам исследования определено, что податливость узлового соединения и жесткость основания являются одними из важных факторов, влияющих на работу пространственных стержневых конструкций, поэтому при составлении расчетных схем следует задавать фактические характеристики узлового соединения и основания.

Ключевые слова: мобильные пространственные стержневые сооружения, расчетная модель, податливость узлового соединения.

Мобильные пространственные стержневые конструкции получили широкое распространение при возведении временных зданий и сооружений, таких как трибуны, навесы, павильоны и т.д. Одной из самых применяемых систем являются стержневые конструкции Layher с клиновым узлом. Преимуществами системы являются многофункциональность, быстрый монтаж и демонтаж. Система является модульной и состоит из следующих основных элементов: винтовых домкратов, стоек, ригелей, диагоналей и настила. Стойки, ригели и диагонали выполнены из трубы диаметром 48,3 мм и толщиной стенки 3,2 мм. Диагональные элементы и ригели оборудованы клиновым замком. На стойках с шагом 0,5 м установлены фланцы с 8 отверстиями. Соединение осуществляется за счет забивки клина. Элементы выполняются в стальном и алюминиевом исполнении.

Производитель в каталоге системы предоставляет перечень элементов и указывает предельные усилия в стержневых элементах и в самом узле.

Для определения усилий, возникающих при эксплуатации сооружения, на стадии проектирования при составлении расчетной схемы особое внимание следует уделить податливости узлового соединения и вида основания.

Влияние податливости узлового соединения стержней на работу системы

Для исследования влияния податливости узлового соединения на работу системы рассмотрены 3 варианта закрепления ригелей к стойке: шарнирное, упруго-податливое и жесткое соединение. График работы упруго-податливого соединения системы «Layher Allround» представлен на рис. 1.

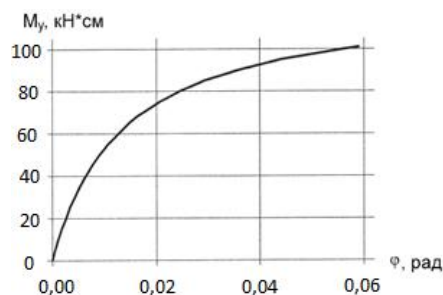


Рис. 1. График работы соединения ригель-стойка системы «Layher Allround»

Расчетная модель представляет собой стержневую конструкцию из модульных ячеек с размерами $2,07\text{м}(b) \times 2,57\text{м}(l) \times 1,5\text{м}(h)$. Расчеты выполнены на фрагментах высотой в одну ячейку и 5 ячеек (рис. 2). Для определения характера перераспределения усилий в элементах исключена центральная в плане опора.

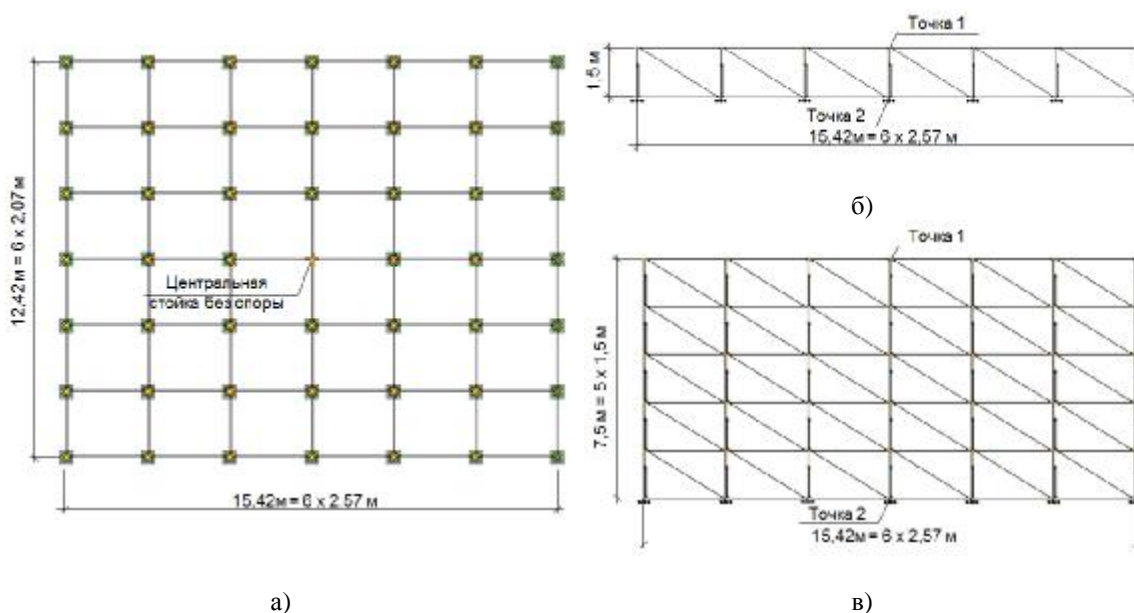


Рис. 2. Схемы для исследования влияния податливости соединения:
 а – вид в плане; б – поперечный разрез схемы 1; в – поперечный разрез схемы 2

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы (табл. 1):

- 1) В расчетной схеме с шарнирным узловым соединением перераспределение усилий происходит только в первой соседней ячейке, тогда как при упруго-податливом и жестком соединениях задействованы соседние две ячейки.
- 2) В схеме с шарнирным соединением ригелей максимальные усилия в диагональных элементах меньше чем с упруго-податливым соединением на 26 % в схеме 1, на 52 % в схеме 2; в жесткой схеме больше на 16 % в схеме 1, на 58 % в схеме 2.
- 3) В шарнирной схеме перераспределение усилий в диагональных элементах происходит более равномерно по высоте, тогда как в жесткой схеме большая часть усилий воспринимается диагональными элементами непосредственно у исключаемой опоры.
- 4) В ригелях с шарнирным соединением стержней изгибающий момент в узле отсутствуют. В схемах с жестким соединением изгибающий момент в узле по сравнению со схемой с упруго-податливым соединением больше на 128 % в схеме 1, на 85 % в схеме 2.

Таблица 1

Результаты расчета фрагментов с разной податливостью узла соединения

| Узловое соединение | Наибольшее изменение усилий в соседних элементах | | | | Передача усилий на соседние опоры, % | | Перемещения в рассматриваемой стойке, мм | | | |
|---------------------------------------|--|-------|---------------|-------|--------------------------------------|-------|--|-------|---------|-------|
| | диагональ, кН | | ригель, кН×см | | | | точка 1 | | точка 2 | |
| | 1 сх. | 2 сх. | 1 сх. | 2 сх. | 1 сх. | 2 сх. | 1 сх. | 2 сх. | 1 сх. | 2 сх. |
| Шарнирное | 8,9 | 1,6 | 0 | 0 | 53,7 | 41,2 | 29,5 | 8,2 | 29,4 | 1,5 |
| Упруго-податливое соединение «Layher» | 12,0 | 3,3 | 56,6 | 12,8 | 42,5 | 31,2 | 14,3 | 3,9 | 14,2 | 0,1 |
| Жесткое | 13,9 | 5,2 | 129,1 | 23,7 | 36,8 | 31 | 9,5 | 3,6 | 9,5 | 0,1 |

Согласно результатам можно заключить, что схемы с шарнирным соединением ригеля со стойкой по сравнению с упруго-податливым соединением приводит к

занижению усилий в элементах и завышению перемещений, а с жестким соединением – к завышению усилий и занижению перемещений. Таким образом, упрощение модели узла приводит к некорректным результатам.

Влияние грунтового основания на работу системы

Мобильные пространственные стержневые конструкции могут устанавливаться на различное основание. При действующей нагрузке происходит совместное деформирование сооружения и основания, что приводит к перераспределению усилий в стержнях системы.

Исследование влияния основания было выполнено на примере трибуны с навесом, использованной во время XVI чемпионата мира по водным видам спорта в Казани.

Описание сооружения

Сооружение состоит из навеса и трибуны из модульных строительных лесов Layher (рис. 3). По внешнему периметру установлено тентовое полотно.

На сооружение действуют собственный вес конструкций, полезная нагрузка от зрителей, ветровая нагрузка от навеса и задней стенки.

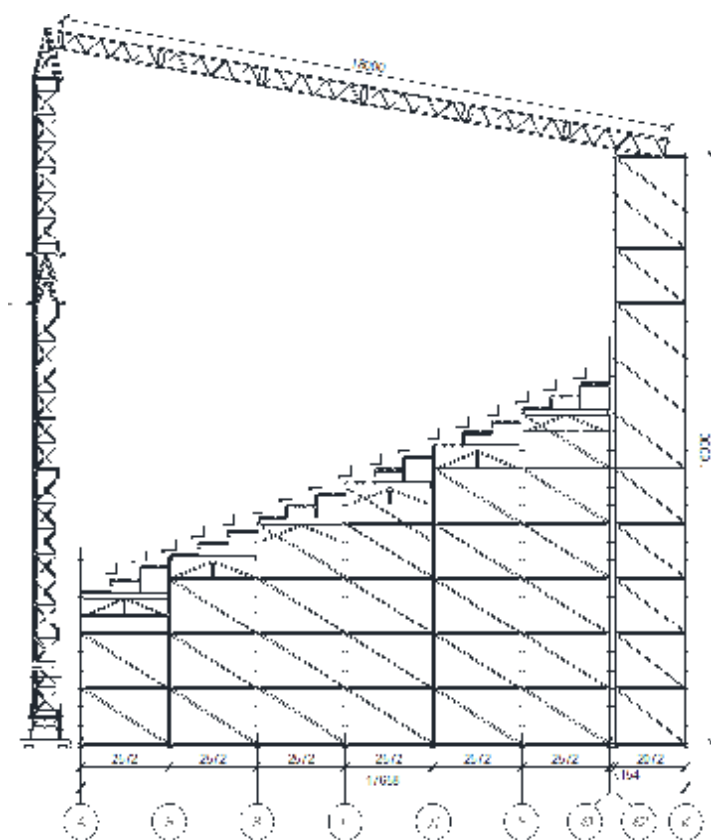


Рис. 3. Поперечный разрез сооружения

Домкраты установлены на опорные плиты с размерами 500x500 мм, выполняемых из ряда брусков стороной 10 см, объединённых с двух сторон фанерными листами.

Расчетная модель

Расчеты выполнены на трехмерной модели сооружения. Поперечное сечение схемы представлено на рис. 3. Стойки и ригели выполнены из круглых труб диаметром 48,3 мм. Соединение ригеля со стойкой выполнено упруго-податливым, работа которого соответствует рис. 2. Погонная жесткость диагональных элементов 13 кН/см. Эксцентриситет при узловом соединении учтен жесткими вставками.

В расчете рассмотрены жесткое и пять видов упругого основания. В расчетной схеме с жестким основанием выполнено ограничение перемещений низа стоек по вертикали. Характеристики грунтов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики грунтов основания

| № | Наименование грунта | Модуль деформации, кН/см ² | Коэффициент Пуассона |
|---|-------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| 1 | Насыпной | 0,980665 | 0,3 |
| 2 | Песок пылеватый | 1,7652 | 0,3 |
| 3 | Супесь | 1,96133 | 0,3 |
| 4 | Суглинок тугопластичный | 1,7652 | 0,35 |
| 5 | Глина полутвердая | 2,15746 | 0,42 |

Согласно результатам расчета (табл. 3) при уменьшении жесткости основания происходит увеличение значения максимального усилия сжатия в диагональных элементах от -0,8 кН до -6,9 кН и изгибающего момента в ригелях в местах соединения со стойкой – от 23,9 кН×см до 33,3 кН×см. При этом важно отметить, что увеличиваются и вертикальные (с 0 см до 5,1 см), и горизонтальные перемещения (с 8 см до 16,9 см).

Таблица 3

Результаты расчета

| Основание | Усилия растяжения/сжатия в диагональных элементах | Изгибающий момент в ригеле | Максимальное вертикальное перемещение (рис. 4) | Максимальное горизонтальное перемещение (рис. 4) |
|-------------------------|--|----------------------------|--|--|
| | $-11,9\text{кН} \leq N_{\text{max}} \leq +17,9\text{кН}$ | $M_y \leq 101\text{кНхсм}$ | $Z_{\text{max}} \leq 7,1\text{см}$ | $X_{\text{max}} \leq 21\text{см}$ |
| Насыпной | +9,2/-6,9 | 33,3 | 5,1 | 16,9 |
| Песок пылеватый | +9,0/-5,5 | 32,9 | 2,9 | 14,7 |
| Супесь | +9,0/-5,2 | 32,8 | 2,8 | 14,3 |
| Суглинок тугопластичный | +9,0/-5,3 | 32,8 | 2,8 | 14,4 |
| Глина полутвердая | +9,1/-2,5 | 31,9 | 0,7 | 11,4 |
| Жесткое основание | +9,1/-0,8 | 23,9 | 0 | 8,0 |

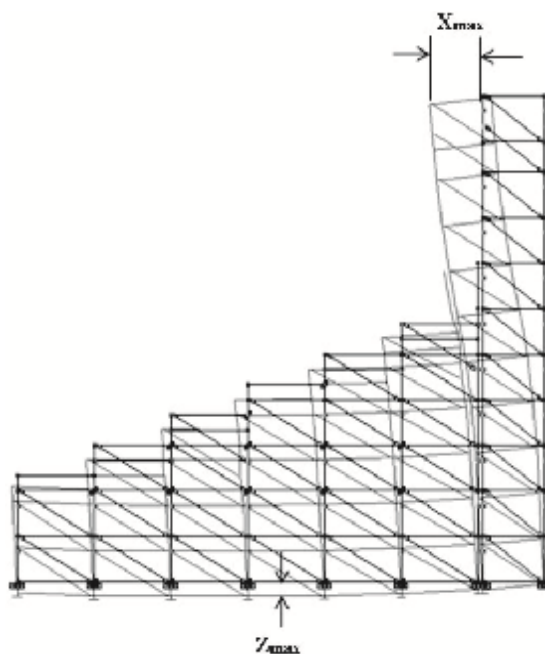


Рис. 4. Деформированная схема трибуны (конструкция навеса условно не показаны)

Исследование пространственной работы системы

Неравномерная жесткость основания, размыв грунта или сдвиг опорных плит под стойками могут привести к разности осадок соседних стоек, что в свою очередь является причиной перераспределения усилий в стержнях системы с упруго-податливым соединением ригеля к стойке. В связи с этим выполнен ряд численных экспериментов, учитывающих случаи отсутствия опорной реакции под одной из стоек системы.

По результатам расчетов определены изменения усилий в стержнях элементов системы по отношению к первоначальной схеме (табл. 4). Перераспределение усилий в поперечном направлении происходит в соседних двух ячейках в каждую сторону, в продольном направлении – в одной. В более удаленных ячейках изменения усилий не превышают 5 %.

Таблица 4

Перераспределение усилий в стержнях системы при отсутствии опорной реакции в одной из опор

| Исключаемая стойка по оси | Изменение усилий в соседних элементах * /коэффициент использования сечения, % | | | | Передача усилий на первые соседние опоры, % | Перемещение в рассматриваемой стойке относительно соседних, мм | |
|---------------------------|--|--------|-----------------|--------|---|--|---------------|
| | Поперечная рама | | Продольная рама | | | нижняя точка | верхняя точка |
| | диагональ | ригель | диагональ | ригель | | | |
| «А» | 57/14 | 27/12 | 37/37 | 21/22 | 77 | 20 | 20 |
| «Б» | 41/81 | 21/38 | 25/25 | 19/15 | 74 | 13 | 12 |
| «В» | 28/62 | 18/53 | 27/27 | 15/21 | 61 | 9 | 8 |
| «Г» | 29/58 | 18/55 | 17/18 | 10/11 | 56 | 8 | 6 |
| «Д» | 27/64 | 15/59 | 14/15 | 13/10 | 53 | 8 | 4 |
| «Е» | 25/44 | 10/52 | 14/15 | 7/7 | 41 | 6 | 3 |

* – изменение усилий в стержнях указаны в процентах от несущей способности элементов: для диагональных элементов усилия сжатия/растяжения, для ригелей моменты в узле соединения.

Наибольшие изменения усилий происходят в диагональных элементах. В поперечной раме в первых соседних ячейках усилия увеличиваются до 57 %, во второй соседней – не более 10 %. Изменения усилий в ригелях происходит только в первых соседних ячейках и не превышают 27 %.

В случае больших деформаций основания под одной стойкой или сдвига опорных плит несущая способность элементов и системы в целом обеспечивается. Перемещения в верхней части трибун не превышают предельных значений согласно табл. Е.1 СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

Продолжается исследование влияния локальной деформации грунта под группой опор.

Выводы

1) Схема с шарнирным соединением ригеля со стойкой по сравнению с упруго-податливым соединением приводит к занижению усилий в элементах и завышению перемещений, а с жестким соединением – к завышению усилий и занижению перемещений;

2) При уменьшении жесткости основания происходит увеличение значения максимального усилия сжатия в диагональных элементах от -0,8кН до -6,9кН и изгибающего момента в ригелях в местах соединения со стойкой – от 23,9кН×см до 33,3кН×см; увеличиваются вертикальные и горизонтальные перемещения;

3) При отсутствии опорной реакции под одной из стоек перераспределение усилий в поперечном направлении происходит в соседних двух ячейках, в продольном направлении – в одной.

По результатам выполненных расчетов определено, что податливость узлового соединения и жесткость основания являются одними из важных факторов, влияющих на работу пространственных стержневых конструкций, поэтому при составлении расчетных схем следует задавать фактические характеристики узлового соединения и основания.

Список библиографических ссылок

1. Ананьин М. Ю., Фомин Н. И. Метод учета податливости в узлах металлических конструкций зданий // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 2010. № 2. С. 72–74.
2. Муцанов А. В., Муцанов В. Ф., Роменский И. В. Влияние податливости опор на напряженно-деформированное состояние элементов структурного покрытия // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. С. 7–19.
3. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М. : СКАД СОФТ, 2011. 736 с.
4. Турищев Л. С. К расчету плоских стержневых конструкций с учетом разномодульности материала // Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение, технологии. № 11. 2011. С. 43–47.
5. Кудишин Ю. И., Михалев Н. Я. О живучести несущих конструкций покрытия ледового дворца спорта на Ходынском поле в г. Москва // Металлические конструкции. 2007. № 3 (13). С. 131–141.
6. Назаров Ю. П., Симбиркин В. Н., Городецкий А. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла конструкций // Актуальные проблемы исследований по теории сооружений. 2009. № 2. С. 204–216.
7. Ружанский И. Л. Развитие конструктивных форм пространственных и легких конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 5. С. 12–15.
8. Коваль З. Формирование пространственных стержневых конструкций по теории надежности // Archives of civil and mechanical engineering. 2011. Vol. XI. № 1. С. 115–133.
9. Маденси И., Гувен И. Метод конечных элементов и применение в технике ANSYS // Springer Science–Business Media, LLC, 2006. 686 с.
10. Антониуа Н., Николаидисб З., Баниотопулоза С.С. Проектирование большепролетных стальных балок путем применения концепций управления перемещением // Engineering Structures Volume 59, February 2014, С. 21–27.
11. Хеллер Р.А. Строительная механика // Encyclopedia of Physical Science and Technology (third edition). 2003. С. 259–278.

Khaidarov L.I. – candidate of technical sciences

E-mail: haidarov_lenar@mail.ru

Shmelev G.N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: gn.shmelev@mail.ru

Ziyatdinov E.K. – student

E-mail: ziyatdinov-imil@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Construction of computational schemes
of mobile spatial rod structures modeling their actual work****Abstract**

Problem statement. The aim of the work is to determine the main factors affecting the operation of mobile spaces of rod structures.

Results. The influence of schemes of fastening elements in nodal connections and ground base on the work of spatial mobile rod structures is studied.

Conclusions. According to the results of the study, it is determined that the compliance of the junction and the rigidity of the base are one of the important factors affecting the operation of the spatial core structures, therefore, when designing the calculation schemes, the actual characteristics of the junction joint and the base should be specified.

Keywords: mobile spatial rod structures, computational model, connection stiffness.

References

1. Ananyin M. Yu., Fomin N. I. Method of accounting for compliance in the nodes of metal structures of buildings // *Akademicheskij vestnik URALNIIPROEKT RAASN*. P. 72–74.
2. Mushchanov A. V., Mushchanov V. F., Romensky I. V. The impact of support on the compliance of the stress-strain state of structural elements covering // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. № 1 (40). P. 7–19.
3. Perelmuter A. V., Slivker V. I. Calculation models of structures and the possibility of their analysis. M. : SCAD SOFT, 2011. 736 p.
4. Turischev L. S. To the calculation of flat bar structures with regard to the different-modularity of the material // *Promishlennost. prikladnie nauki. mashinostroenie tehnologii*. № 11. 2011. P. 43–47.
5. Kudishin Yu. I., Mikhalev N. Ya. About the survivability of load-bearing structures covering the ice palace of sports in the Khodynka field in Moscow // *Metallicheskie konstrukcii*. 2007. № 3 (13). P. 131–141.
6. Nazarov Yu. P., Simbirkin V. N., Gorodetsky A.S. Computer modeling of the life cycle of structures // *Aktualnie problemi issledovaniy po teorii sooruzhenii*. 2009. № 2. P. 204–216.
7. Ruzhansky I. L. Development of constructive forms of spatial and light structures // *Promishlennoe i grajdanskoe stroitelstvo*. 2010. № 5. P. 12–15.
8. Kowal Z. The formation of space bar structures supported by the system reliability theory // *Archives of civil and mechanical engineering*. 2011. Vol. XI. № 1. P. 115–133.
9. Madenci E., Guven I. The finite element method and applications in engineering using ANSYS, by Springer Science–Business Media, LLC, 2006. 686 p.
10. Antonioua N., Nikolaidis Th., Baniotopoulou C.C. Designing long-span steel girders by applying displacement control concepts // *Engineering Structures*. Vol. 59, February 2014. P. 21–27.
11. Heller R. A. Mechanics of Structures // *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (third edition). 2003. P. 259–278.



УДК 624.153.6

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Королева И.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: 79178711218@yandex.ru

Назипова Д.Р. – студент

E-mail: dorian.ka@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Экспериментальные исследования деформирования глинистых грунтов при режимном длительно-статическом нагружении

Аннотация

Постановка задачи. Основной целью проведения экспериментальных исследований глинистого грунта нарушенной структуры в приборе трехосного сжатия кубической формы с размерами граней 100 мм × 100 мм является изучение особенностей деформирования образцов при режимном блочном длительно-статическом нагружении. Существующие данные об экспериментальных исследованиях в данном направлении носят разрозненный характер.

Результаты. Основными результатами выполненных исследований являются новые данные о развитии относительной вертикальной и боковой деформации на этапах блочного режимного нагружения зависимости от величины девиаторных напряжений в образцах. Выполнен анализ результатов исследований и установлены некоторые закономерности поведения глинистых грунтов при режимных трехосных длительно-статических нагружениях.

Выводы. Установление влияния режима нагружения на развитие линейных, объемных и сдвиговых деформаций и на изменение прочностных параметров образца глинистого грунта в условиях истинного трехосного сжатия является важной задачей для строительной отрасли, так как позволяет достоверно моделировать поведение грунта в основании фундамента.

Ключевые слова: глинистый грунт, режимное нагружение, трехосное сжатие, дилатансия, девиатор.

Введение

В процессе производства строительных работ по возведению зданий в результате надстройки этажей основание зданий и сооружений, сложенное во многих случаях глинистыми грунтами, подвергается режимным длительно-статическим воздействиям [1-6]. В существующих расчетных методиках определения деформаций грунтовых оснований последовательность возведения сооружений не рассматривается, то есть считается, что объект возникает «одномоментно» и все 100 % нагрузки от сооружения прикладываются сразу, в реальных условиях объект возводится захватками или ярусами. Кроме того не учитывается влияние времени на изменение прочностных и деформационных характеристик грунта, а также такое явление как дилатансия [2, 7]. Из вышеизложенного следует, что напряженно-деформируемое состояние глинистых грунтов зависит от истории предыдущих нагружений. Вследствие пренебрежения указанными факторами, наблюдается существенное расхождение между расчетными и наблюдаемыми величинами осадок оснований вновь возводимых зданий [2].

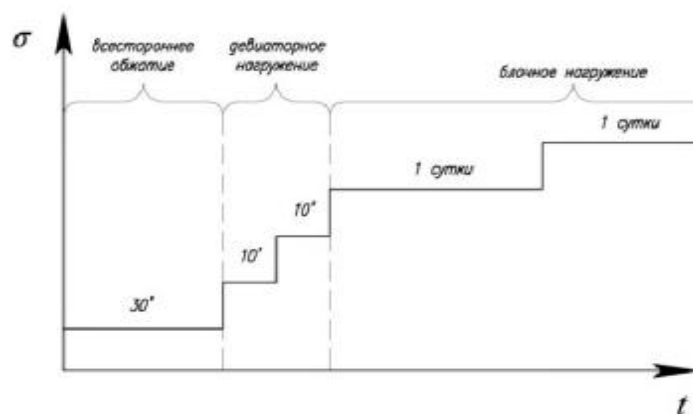
С целью получения более достоверных результатов прогнозируемых осадок при определении деформационных характеристик грунтового основания следует учитывать режим его нагружения.

В связи с этим в лаборатории «Механики грунтов» кафедры ОФДСиИГ были проведены экспериментальные исследования глинистых грунтов, наиболее чувствительных к фактору «время», в условиях режимного длительно-статического трехосного нагружения.

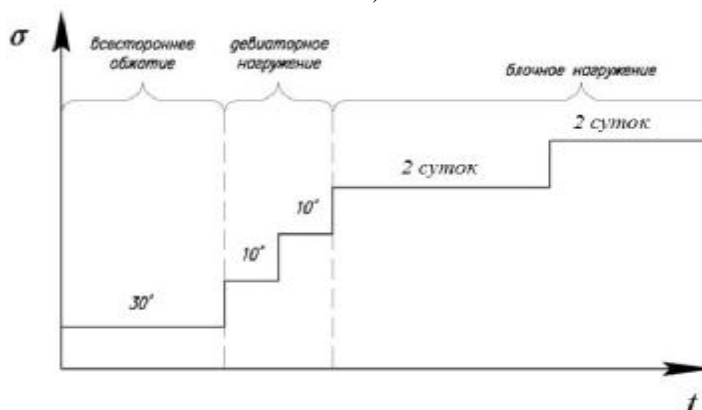
Экспериментальные исследования

Основной особенностью пылеватоглинистых грунтов природного сложения является их значительная неоднородность вследствие хаотично расположенных пор, пустот и включений. С целью уменьшения влияния данного фактора, испытываемые образцы готовились согласно методике, разработанной на кафедре, из глинистого грунта нарушенной структуры со следующими параметрами: влажность $W = 0,23$; влажность на границе текучести $W_L = 0,401$; влажность на границе раскатывания $W_P = 0,228$; число пластичности $I_p = 0,173$.

Испытания проводились в приборе трехосного сжатия с жесткими штампами по двум режимам (рис. 1). К образцу на этапе всестороннего обжатия прикладывалась $\sigma_m = 80$ кПа, затем следовал блок девиаторного нагружения, который сменялся блоком длительного статического нагружения, после чего образец снова подвергался увеличению вертикальной нагрузки. В условиях режима 1 длительность каждого блока длительного статического нагружения составляла одни сутки, а для режима 2 – двое суток.



а)



б)

Рис. 1. Режимы нагружения: а – режим 1, б – режим 2

С целью выявления влияния рассматриваемых режимов нагружения было проведено кратковременное трехосное нагружение образца по схеме «раздавливания». Результаты данного испытания были приняты за «эталонные» статические испытания, соответствующие условному мгновенному приложению нагрузки.

По результатам экспериментальных исследований были построены паспорт грунта (рис. 2), паспорт ползучести (рис. 3), графики развития относительных вертикальных деформаций во времени в процессе всего испытания (рис. 4) и для каждого блока нагружения. Полученные графические зависимости (рис. 2-4) показывают, что деформации образца растут на всем протяжении испытания не зависимо от режима нагружения.

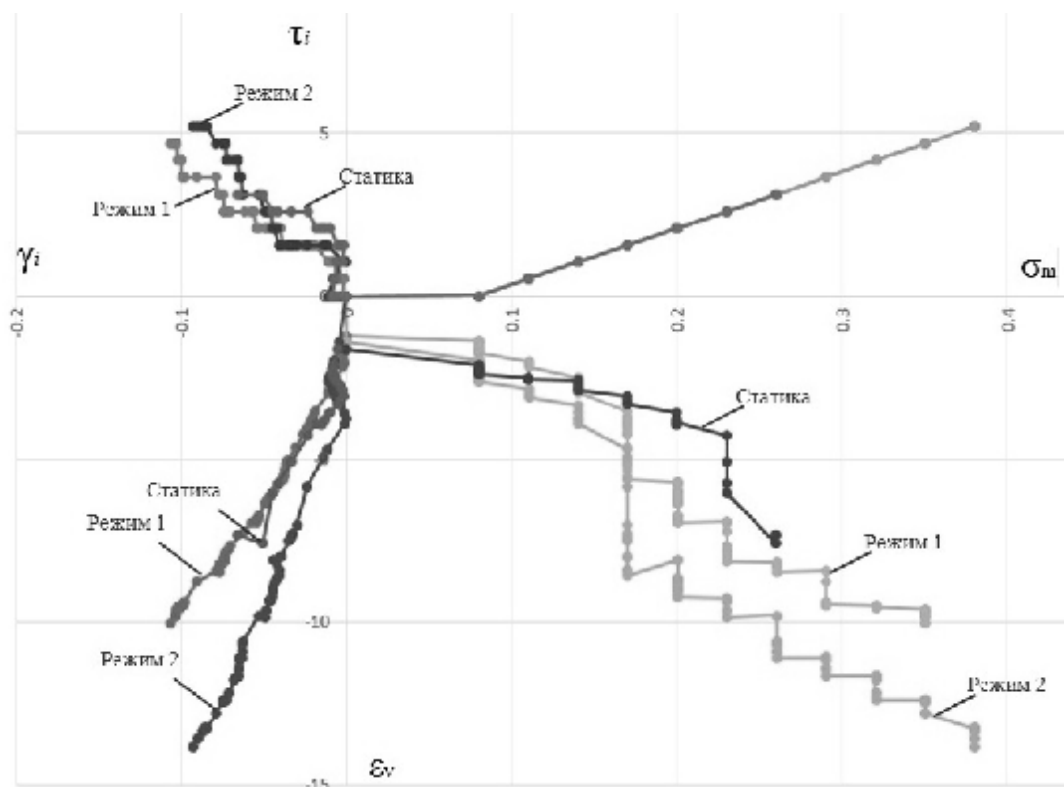


Рис. 2. Сводный паспорт прочности

На рис. 2 приводится сопоставление паспортов грунта образцов, испытанных по рассматриваемым режимам нагружения, с «эталонным» образцом, разрушенным в условиях статического кратковременного трехосного нагружения. Установлено, что прочность образца и его объемные деформации увеличиваются в зависимости от длительности блока нагружения: так при режиме 1 прочность грунта в момент разрушения на 35 % больше, чем при «эталонном» испытании, а увеличение длительности блока статического нагружения до двух суток привело к увеличению прочности в 1,46 раза. При нагрузке, ставшей разрушающей для «эталонного» образца, объемные деформации в условиях испытания по режиму 1 составили 115 % и 88 % от предельных значений, полученных при кратковременных статических испытаниях и при выдержке в течение одних суток соответственно, а в условиях режима 2 объемные деформации выросли на 31 % относительно «эталонных» испытаний, что составило 74 % от предельных значений объемных деформаций при разрушении образца № 2. Выявлено, что при увеличении времени выдержки образца при режимном статическом нагружении увеличивается доля сдвиговых деформаций (рис. 2-3).

Паспорта ползучести (рис. 3) позволили проследить закономерность развития деформаций при постоянных величинах средних нормальных напряжений σ_m . Деформации грунта (объемные, линейные и сдвиговые) развивались на протяжении всего испытания с различной скоростью в разных блоках нагружения. Наиболее интенсивное развитие в зафиксировано на первом блоке статического загрузения. В последующих блоках наблюдалось уменьшение скорости деформирования.

На графике развития относительных вертикальных деформаций в пределах каждого блока длительного статического нагружения (рис. 4) наблюдается интенсивный прирост деформаций в момент приложения нагрузки с последующим затуханием деформаций ползучести. Скорости развития деформаций в каждом из блоков приложения нагрузки не одинаковы. Это связано с уплотнением грунта в интегральном объеме образца под жесткими штампами на первых блоках нагружения, образованием уплотненных зон и зон предельного равновесия между ними в последующих блоках. Аналогичный механизм деформирования был описан в работах [2, 7, 9].

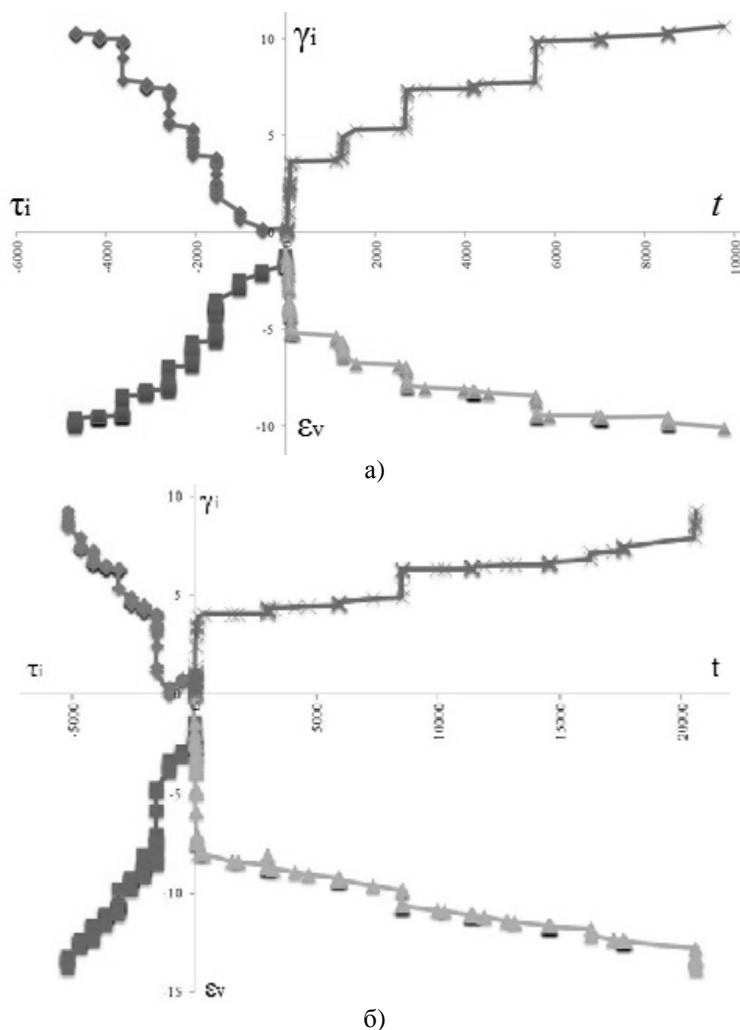
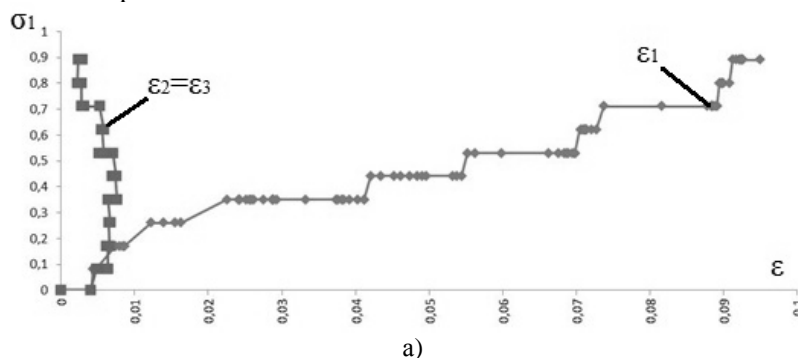


Рис. 3. Паспорт ползучести: а – режим 1, б – режим 2

Следует отметить, что максимальные скорости прироста относительных вертикальных деформаций образца сопровождалось явлением положительной дилатансии (рис. 3), когда фиксировалось не только отсутствие горизонтальных деформаций, но и их уменьшение, что связано с вытеснением уплотненных пирамид грунта, образовавшихся у боковых граней, вертикальными уплотненными пирамидами. Описанный характер деформирования образцов наблюдался в первые 30 минут после увеличения девиатора, затем приращение вертикальных деформаций замедлялось и начинался прирост горизонтальных деформаций. Вероятность проявления процессов дилатансии существенно зависела от уровня средних нормальных напряжений в образце и истории его предыдущего нагружения. В момент разрушения образца вертикальные деформации образца имели незатухающий характер, а развитие горизонтальных деформаций имело отрицательный знак.



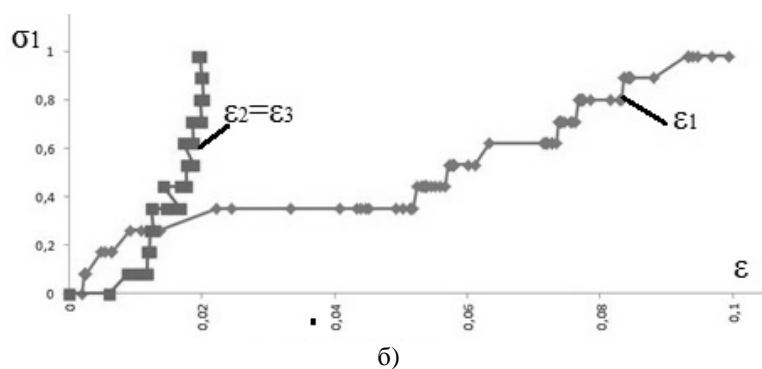


Рис. 3. График развития относительных деформаций в условиях режимного нагружения:
а – режим 1, б – режим 2

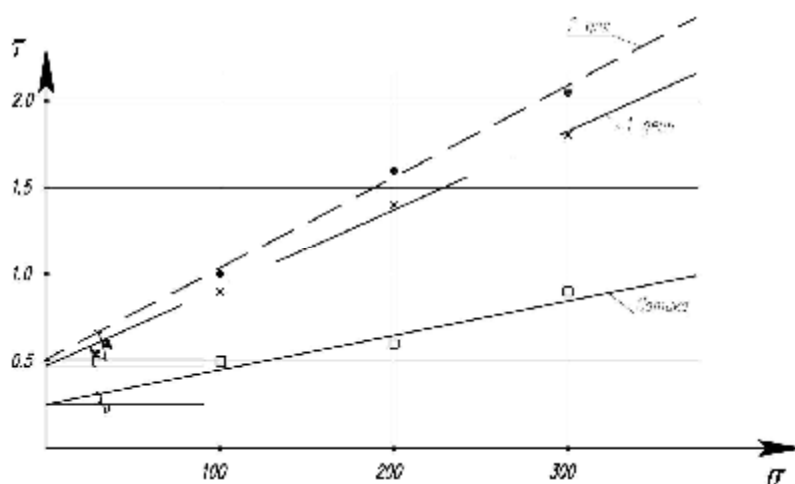


Рис. 4. Определение прочностных характеристик грунта

По результатам испытаний была получена схема расположения уплотненных зон, аналогичная схеме расположения уплотненных зон при длительном статическом нагружении [7]. После разрушения образца, для определения параметров грунта в зоне уплотненных пирамид, образовавшихся у боковых граней, отобраны пробы грунта, которые были испытаны в одноплоскостных срезных приборах П10-С с фиксированной плоскостью среза путем сдвига одной части образца относительно другой.

Установлено улучшение механических характеристик исследуемого грунта в уплотненных зонах по сравнению с начальными значениями, полученными после изготовления образца до начала испытаний. Удельное сцепление грунта в образце, испытанном по режиму 1, выросло на 87 % и на 102 % – при испытании по режиму 2, а угол внутреннего трения увеличился на 13 градусов и 17 градусов соответственно. Данный факт свидетельствует о том, что параметры прочности грунта: удельное сцепление и угол внутреннего трения не являются постоянными величинами и существенно зависят от режима нагружения с учетом фактора времени, при этом указанные характеристики изменяются как в пределах характерных уплотненных и разуплотненных зон, так и в интегральном объеме. Это связано с процессами упрочнения и разупрочнения грунта, происходящими при режимном длительно-статическом нагружении [10].

Заключение

В результате экспериментальных исследований установлено:

1. Развитие деформаций образца глинистого грунта нарушенной структуры в условиях трехосного сжатия зависит от режима нагружения: чем дольше продолжается блок длительного статического нагружения, тем больше доля деформаций ползучести.

2. Линейные, объемные и сдвиговые деформации развиваются на протяжении всего испытания с различной интенсивностью. Скорость деформирования зависит от уровня средних нормальных напряжений в образце и истории предшествующего нагружения.

3. По результатам испытания глинистых грунтов нарушенной структуры установлено увеличение прочности образца в целом до 46 % при режимном нагружении, а также увеличение механических характеристик грунта в уплотненных зонах образца: удельное сцепление возросло на 87 % и 102 % соответственно при первом и втором режимах нагружения по сравнению с начальными значениями, а угол внутреннего трения увеличился примерно в 2,5 раза.

Список библиографических ссылок

1. Ильичев В. А., Мангушев Р. А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : АСВ, 2014. 728 с.
2. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 4. С. 16–23.
3. Тер-Мартirosян З. Г., Тер-Мартirosян А. З., Соболев Е. С. Ползучесть и виброползучесть грунтов : Труды XIV междунар. симп. по реологии грунтов – Перспективные направления развития теории и практики в реологии и механике грунтов / КГАСУ. Казань, 2014. С. 8–23.
4. Mirsayapov I. 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.
5. 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 : Труды XIII междунар. симп. по реологии грунтов – Достижения, проблемы и перспективные направления развития для теории и практики механики грунтов и фундаментостроения / КГАСУ. Казань, 2012. С. 18–26.
6. Mirsayapov I. 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.
7. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Расчетная модель длительного нелинейного деформирования глинистых грунтов при сложном напряженном состоянии // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 121–128.
8. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Особенности деформирования глинистых грунтов при режимном нагружении // Известия КГАСУ. 2012. № 4 (22). С. 193–198.
9. Mirsayapov I. 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. Issue 1. P. 5–11.
10. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Влияние процесса упрочнения на прочность глинистого грунта при режимном трехосном нагружении // Известия КГАСУ. 2017. № 1 (39). С. 145–152.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Koroleva I.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: 79178711218@yandex.ru

Nazipova D.R. – student

E-mail: dorian.ka@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Experimental studies of clay soils deformation under regime long-term static loading

Abstract

Problem statement. The main purpose of carrying out experimental studies of clay soil of a disturbed structure in a triaxial compression device of a cubic shape with face dimensions of 100 mm x 100 mm is to study the features of the deformation of samples under regime block long-term static loading. Existing data on experimental research in this direction are of a disparate nature.

Results. The main results of the studies performed are new data on the development of relative vertical and lateral deformations at the stages of block regime loading depending on the magnitude of the deviator stresses in the samples. An analysis of the results of the investigations is carried out and certain regularities in the behavior of clay soils under regime triaxial long-term static loading are established.

Conclusions. Determination of the loading regime influence on the development of linear, volumetric and shear strains and on the change strength parameters of a clay soil sample under true triaxial compression is an important task for the construction industry, since it will make it possible to model the ground behavior reliably at the base of the foundation.

Keywords: clay soil, regime loading, triaxial compression, dilatancy, deviator.

References

1. Ilyichev V. A., Mangushev R. A. Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures. M. : ASV, 2014. 728 p.
2. Mirsayapov I. 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.
3. Ter-Martirosyan Z. G., Ter-Martirosyan A. Z., Sobolev Ye. S. Creep and vibrocreep of soils : Proc. XIV intern. symp. on the rheology of soils – Future directions of the theory and practice of rheology and soil mechanics / KGASU. Kazan, 2014. P. 8–23.
4. Mirsayapov I. 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.
5. 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 : Proc. XIII intern. symp. on the rheology of soils – 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.
6. Mirsayapov I. 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.
7. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Designed model of long nonlinear deformation of clay soil in a complex stress state // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 2 (16). P. 121–128.
8. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Features of deformation of clay soils during loading of regime // *Izvestiya KGASU*. 2012. № 4 (22). P. 193–198.
9. Mirsayapov I. 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. Issue 1. P. 5–11.
10. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Influence of the hardening process, the strength of clay soil under regime triaxial loading // *Izvestiya KGASU*. 2017. № 1 (39). P. 145–152.

УДК 624.153.6

Сиразиев Л.Ф. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: siraziev100@mail.ru

Сергеев Д.Н. – студент

E-mail: danilkudo007@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Экспериментальные исследования влияния напластования различных грунтов на напряженно-деформированное состояние слоистого грунтового основания плитного фундамента

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить влияние неоднородных по глубине грунтов напряженно-деформированное состояние трехслойного грунтового основания плитного фундамента при жестком подстилающем слое.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в получении относительные деформации в массиве грунта и величин осадок каждого слоя. Результаты экспериментальных исследований получены в виде картины деформирования слоистого основания, графиков распределения сжимающих напряжений в грунте по глубине и в горизонтальной плоскости.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной области состоит в установлении взаимовлияния различных грунтов на напряженно-деформированное состояние слоистого основания плитного фундамента. Наличие плотного верхнего слоя в слоистом основании значительно увеличивает его распределительную способность. Распределение напряжений происходит пропорционально несущей способности отдельных слоев основания. На границе между слоями может происходить скачок сжимающих напряжений, который указывает на наличие сдвиговых деформаций в контактном слое.

Ключевые слова: слоистое грунговое основание, малосжимаемый подстилающий слой, плитный фундамент.

Актуальной проблемой современного городского строительства является качественное и надежное прогнозирование напряженно-деформированного состояния грунтовых оснований. В принятых расчетных моделях должны наиболее полно отражаться реальные свойства грунтов, неоднородность слоистых оснований по глубине, которые влияют на процессы, происходящие в грунтовых основаниях при действии внешних нагрузок. Разработка надежной теории расчета грунтовых слоистых оснований приобретают особую актуальность в настоящее время, когда в современных крупных городах возникает необходимость строительства зданий повышенной этажности с плитными фундаментами [1-10] в неблагоприятных инженерно-геологических условиях.

Вследствие этого возникает необходимость получения экспериментальных данных о напряженно-деформированном состоянии слоистых оснований, которое станет основой для создания реальных моделей грунтового основания с различными прочностными и деформационными характеристиками. Для получения данных по напряженно-деформированному состоянию требуется провести экспериментальные исследования моделей плитных фундаментов на слоистых неоднородных основаниях.

Испытания проводились в объемных лабораторных металлических лотках размерами 100×100 см кафедры ОФДСиИГ КГАСУ, общий вид которых представлен на рис. 1, 2.

Модель слоистого грунтового основания сформирована тремя слоями грунтов с различными физико-механическими характеристиками, четвертый подстилающий слой является малосжимаемым. Высота трехслойного основания 60 см, а нижнего подстилающего слоя – 40 см.

Трехслойное основание в экспериментах состояло из следующих грунтов:

– супесь пластичная, непросадочная, со следующими характеристиками: $\gamma=1,7 \text{ г/см}^3$, $W=13 \%$, $E=10,45 \text{ МПа}$, $\varphi=12,88^\circ$, $c=1 \text{ кПа}$;

– суглинок тугопластичный непросадочный со следующими характеристиками: $\gamma=1,89 \text{ г/см}^3$, $W=27 \%$, $E=18,34 \text{ МПа}$, $\varphi=10,21^\circ$, $c=1 \text{ кПа}$;

– песок мелкий, средней плотности, малой степени водонасыщения со следующими характеристиками: $\gamma=1,65 \text{ г/см}^3$, $W=13 \%$, $E=11,55 \text{ МПа}$, $\varphi=14,11^\circ$, $c=2,8 \text{ кПа}$.

Во всех экспериментах в качестве подстилающего малосжимаемого слоя был использован суглинок полутвердый, непросадочный со следующими характеристиками: $\gamma=2,05 \text{ г/см}^3$, $W=24 \%$, $E=38 \text{ МПа}$, $\varphi=25,1^\circ$, $c=28 \text{ кПа}$.



Рис. 1. Внешний вид испытательного лотка

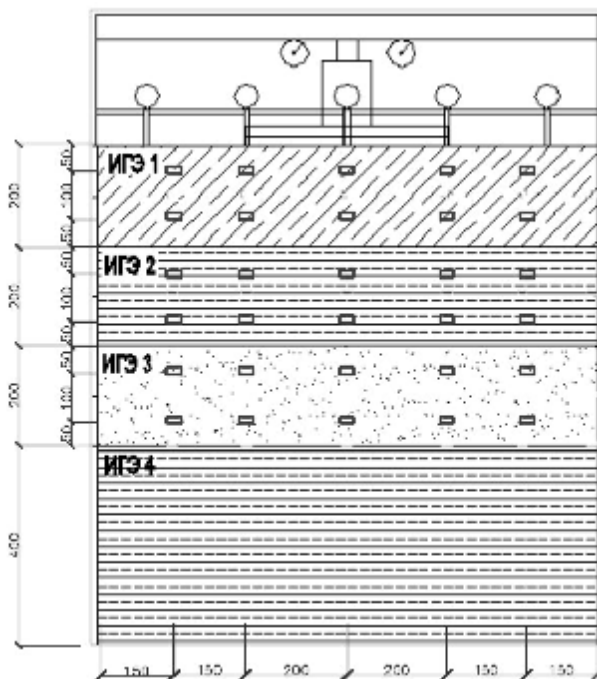


Рис. 2. Схема испытания и расположения приборов

Были проведены четыре эксперимента, моделирующие совместную работу плитного фундамента и трехслойного грунтового основания на малосжимаемом подстилающем слое:

1-й эксперимент – расположение слоев описано выше;

2-й эксперимент:

- песок мелкий, средней плотности;
- супесь пластичная, непросадочная;
- суглинок тугопластичный непросадочный.

3-й эксперимент:

- суглинок тугопластичный непросадочный.

- песок мелкий, средней плотности;
- супесь пластичная, непросадочная.

4-й эксперимент:

- песок мелкий, средней плотности;
- суглинок тугопластичный непросадочный;
- супесь пластичная, непросадочная.

Грунт в испытательный лоток засыпался слоями толщиной 5 см, затем каждый слой тщательно разравнивался и уплотнялся прямоугольной трамбовкой до определенного значения плотности. Из каждого слоя мощностью 5 см отбирались пробы грунтов и определялись физико-механические характеристики.

На подготовленную поверхность устанавливается модель плитного фундамента, представляющую собой железобетонную плиту размерами 400x400x40 мм. Нагрузку модели плиты производилось с помощью гидравлического домкрата.

Напряжения в грунтовом основании в течении экспериментов определялись с помощью грунтовых датчиков, расположенных в два ряда в каждом слое под центром плиты в плане (рис. 2). Показания с грунтовых датчиков снимались с помощью тензометрической станции АИД-4.

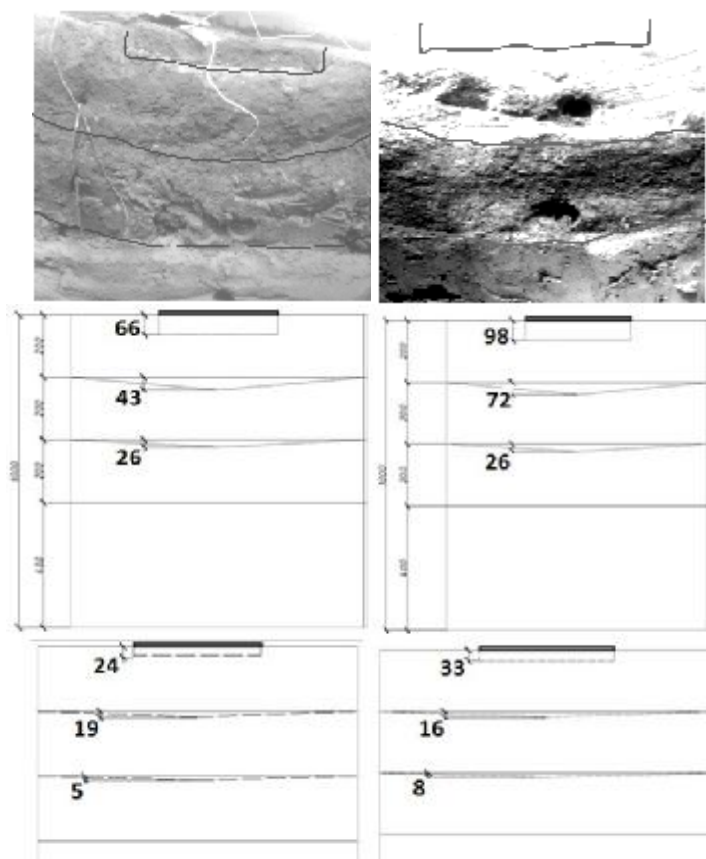


Рис. 3. Разрез трехслойного основания посередине модели плиты и форма деформирования слоистого основания в 4-х экспериментах

При сравнении осадки плиты полученной по 4-м экспериментам (рис. 3, 4) видно, что минимальная осадка получена в 3 эксперименте и составляет 24 мм, максимальная во 2-м эксперименте – 98 мм, в 3-м и 4-м экспериментах значения осадок различаются не намного и равны 24 и 33 мм соответственно. Наибольшие осадки модели фундаментной плиты произошли при наличии мелкого песка или супеси в качестве подстилающего слоя. Важное значение имеет расположение более прочного слоя – тугопластичного суглинка: чем ближе к поверхности он расположен, тем меньше осадка, т.е. плотный верхний слой в слоистом основании значительно увеличивает распределительную способность последнего.

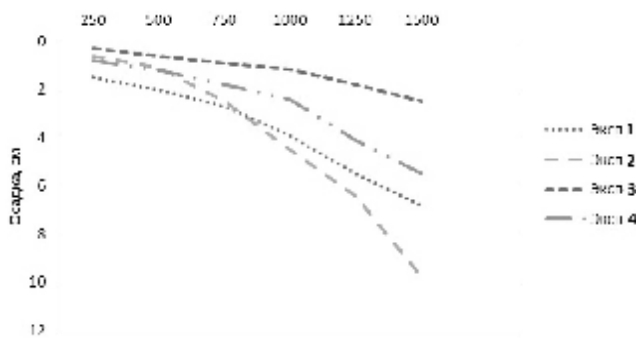


Рис. 4. График зависимости осадки плиты от нагрузки

Во всех экспериментах (рис. 5, 6) в верхних двух слоях на всех этапах нагружения эпюра распределения напряжений в грунтах по горизонтали имеет классический вид распределения, а именно седлообразную форму, в третьем слое более глубоком эпюра напряжений преимущественно имеет параболическую форму, и только в эксперименте № 3, когда слои расположены сверху вниз от наиболее прочного к менее прочным эпюра из седлообразной формы переходит в параболическую.

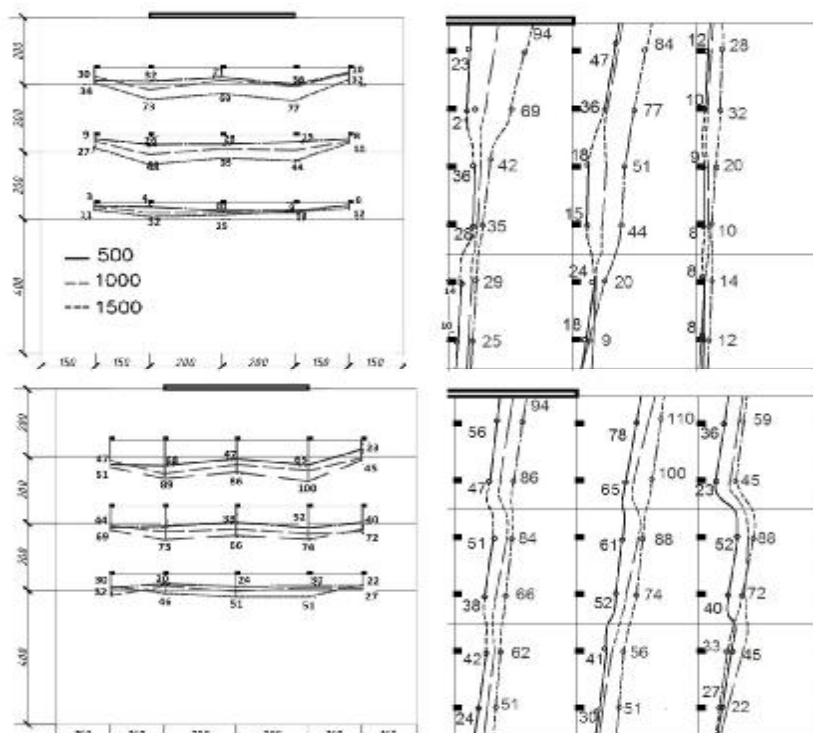


Рис. 5. Эпюры напряжений по горизонтали и вертикали в грунтах под моделью фундаментной плиты в 1 и 2 экспериментах

Анализируя картину деформирования (рис. 3) и эпюры напряжений всех 4-х экспериментов (рис. 5, 6), пришли к следующим выводам: наибольшие напряжения до 140 кПа возникают в подстилающем слое фундаментной плиты, если им является наименее деформативный грунт – суглинок (эксперимент № 3), в этом случае трехслойного основания высокий уровень напряжений и в других слоях до 113 кПа и до 110 кПа. В эксперименте № 4, в котором осадка была также небольшой, максимальные напряжения в слоях составляли сверху вниз: 122 кПа, 137 кПа, 90 кПа. В экспериментах № 1 и № 2, в которых осадка была в 2ч3 раза больше, максимальные напряжения в слоях были меньше (сверху вниз по слоям): на 55 % (84 кПа) и 18 % (110 кПа), на 145 % (51 кПа) и 42 % (88 кПа), на 212 % (32 кПа) и 79 % (56 кПа).

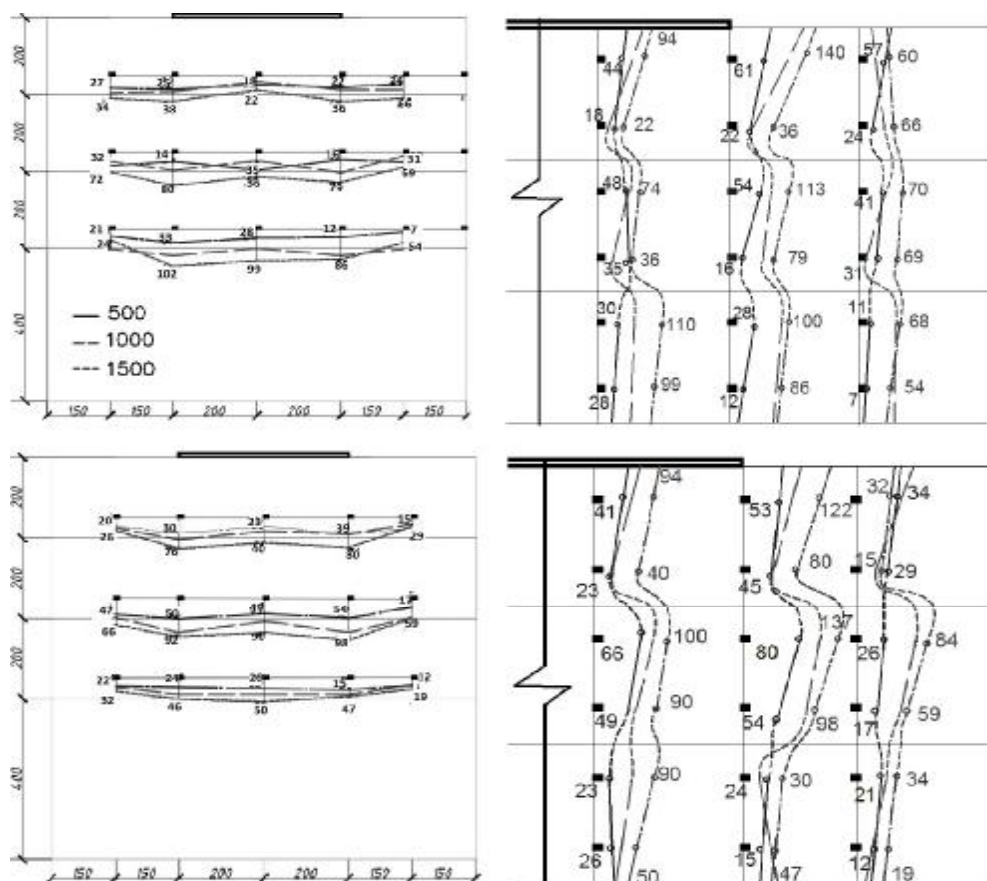


Рис. 6. Эпюры напряжений по горизонтали и вертикали в грунтах под моделью фундаментной плиты в 3 и 4 экспериментах

По характеру распределения сжимающих напряжений (рис. 5, 6) видно, что в каждом геологическом слое по глубине напряжения уменьшаются, а в нижележащем слое в большинстве экспериментов наблюдается увеличение напряжений по сравнению с вышележащим слоем, т.е. на границе между слоями происходит скачок, перепад напряжений, который указывает на наличие сдвиговых деформаций в контактном слое. Причем эти деформации тем больше, чем выше расположен контактный слой и чем эффективнее происходит перераспределение сжимающих напряжений в слоистом основании, которое выражается в меньших осадках модели плитного фундамента. В эксперименте № 1 (осадка составляет 66 мм) сжимающие напряжения изменяются по всем трем слоям практически по линейному закону. В эксперименте № 2 (осадка – 93 мм) напряжения под центром и по краю плиты на всю глубину основания изменяются по линейному закону, а за пределами плиты происходит перепад напряжений в первом и втором слоях практически в 2 раза. В эксперименте № 3 (осадка – 24 мм) скачок напряжений происходит в двух контактных слоях по центру и по краю плиты в 3,05 и 3,36 раз и 1,27 и 1,14 раза соответственно, за пределами плиты перепад напряжений не происходит. В эксперименте № 4 (осадка – 33 мм) скачок напряжений наблюдается только между первым и вторым слоем в 1,71 и 2,9 раза по всей линии контакта.

Список библиографических ссылок

1. Тетиор А. Н. Фундаменты. М. : Академия, 2010. 400 с.
2. Цытович Н. А. Механика грунтов (краткий курс). М. : Высшая школа, 2011. 272 с.
3. Сиразиев Л. Ф., Богданов Р. Р. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния двухслойного грунтового основания плитного фундамента при жестком подстилающем слое // Известия КГАСУ. 2012. № 1 (19). С. 67–73.

4. Тезисы докладов : сб. научных трудов 68-й Всероссийской научной конференции, Казань. 357 с.
5. Тезисы докладов : сб. научных трудов 69-й Международной научной конференции, Казань. 396 с.
6. Андреев В. И., Барменкова Е. В. Расчет двухслойной плиты на упругом основании с учетом собственного веса : сб. трудов XIX Рос.-пол.-слов. семинара «Теор. основы стр-ва». Жилина. 2010. С. 39–44.
7. Ширунов Г. Н. Метод начальных функций в модели упругого многослойного основания под действием нормальной локальной нагрузки // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 1. С. 91–96.
8. Kim C. K., Hwang M. H. Non-linear analysis of skew thin plate by finite difference method // Journal of mechanical science and technology. 2012. Vol. 26. № 4. P. 1127—1132.
9. Malekzadeh K., Khalili S. M. R., Abbaspour P. Vibration of non-ideal simply supported laminated plate on an elastic foundation subjected to in-plane stresses., Composite Structures, 2010, P. 1478-1484.
10. Kotrasova K., Kormanikova E. The ground plate on the Winkler foundation In: Modelling in mechanics. Ostrava. 2010. № 92. P. 1–6.

Siraziev L.F. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: siraziev100@mail.ru

Sergeev D.N. – student

E-mail: danilkudo007@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Experimental studies of the influence of the bedding of various soils on the stress-strain state of a layered subsoil base of the slab foundation

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to reveal the effect of the stress-strain state of the three-layer soil base of the slab foundation with a rigid underlying layer, which is inhomogeneous in the depth of the ground.

Results. The main results of the study are to obtain relative deformations in the soil massif and the sediment values of each layer. The results of experimental studies are obtained in the form of a deformation pattern of a layered base, graphs of the distribution of compressive stresses in the soil in depth and in a horizontal plane.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction area is to establish the mutual influence of various soils on the stress-strain state of the laminate basement of the slab foundation. The presence of a dense top layer in a laminate base significantly increases its distribution ability. The stress distribution is proportional to the load-carrying capacity of the individual base layers. On the boundary between the layers, a jump in the compressive stresses may occur, which indicates the presence of shear deformations in the contact layer.

Keywords: layered ground basis, rigid underlay, slab foundation.

References

1. Tetior A. N. Foundations. M. : Academy, 2010. 400 p.
2. Tsytoovich N. A. Soil mechanics (short course). M. : Higher School, 2011. 272 p.
3. Siraziev L. F., Bogdanov R. R. Experimental researches of deflected mode of double layered soil basis of lab foundation with rigid underlay // Izvestiya KGASU. 2012. № 1 (19). P. 67–73.

4. Theses of reports: proceedings of the 68th All-Russian scientific conference, Kazan, 2016. 357 p.
5. Theses of reports: proceedings of the 69th International scientific conference, Kazan, 2017. 396 p.
6. Andreev V. I., Barmenkova E. V. Calculation of a two-layer slab on an elastic foundation with allowance for its own weight: Proceedings of the 19th Ros.-Pol.-Words. Seminar «Theor. Basis of the page». Zilina. 2010. P. 39–44.
7. Shirunov G. N. Method of initial functions in model of compression linearly deformable layered foundation under normal local load // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2015. № 1. С. 91–96.
8. Kim C. K., Hwang M. H. Non-linear analysis of skew thin plate by finite difference method // Journal of mechanical science and technology. 2012. Vol. 26. № 4. P. 1127–1132.
9. Malekzadeh K., Khalili S. M. R., Abbaspour P. Vibration of non-ideal simply supported laminated plate on an elastic foundation subjected to in-plane stresses. Composite Structures, 2010. P. 1478–1484.
10. Kotrasova K., Kormanikova E. The ground plate on the Winkler foundation In: Modelling in mechanics. Ostrava. 2010. № 92. P. 1–6.



УДК 628.8

Бройда В.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: broida@mail.ru

Бабич Е.К. – студент

E-mail: babich.evgeniy1@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Зависимости для расчета воздушно-струйного экрана над промышленной ванной

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования выявить и представить в доступном для практического применения виде основные зависимости для расчета воздушно-струйных экранов над промышленными ваннами, полученные методом CFD. Характеристики взаимодействия плоской приточной струи и локализирующего щелевого стока в воздушно-струйных экранах, зависят в основном от геометрических условий: расстояния между приточным устройством и стоком l , расстояния от оси воздушно-струйного экрана до зеркала жидкости h , ширины щелевого стока B .

Результаты. Основные результаты исследования состоят в представленных в безразмерном виде зависимостях, требующихся для расчетов воздушно-струйных экранов над промышленными ваннами. Такие зависимости даны в виде аналитических формул и в виде графиков. Из-за сложности рассчитанных течений аналитическое описание достаточно громоздко и более подходит для компьютерной программы расчета. Графические материалы доступны для выполнения расчетов ручным способом.

Выводы. Значимость полученных результатов для вентиляции производственных зданий состоит в более полном и правильном учете геометрических факторов при расчете воздушно-струйных экранов над промышленными ваннами. Примеры иллюстрируют способ применения полученных зависимостей.

Ключевые слова: воздушно-струйный экран, плоская струя, сток, расход, расчет.

Введение

Воздушно-струйные экраны применяются в гражданских и производственных зданиях для отделения пространства с неблагоприятными для человека условиями от остального пространства и, в тоже время, они не создают непроницаемой перегородки, что во многих ситуациях совершенно необходимо. Так воздушно-тепловые завесы у дверей и ворот [1] защищают помещения от проникновения наружного воздуха в зимний период, но не препятствуют прохождению людей и проезду автотранспорта.

В производственных помещениях применяются разнообразные активированные отсосы, представляющие собой разновидность локализуемого воздушно-струйного экрана, образованного приточной струей и стоком. Наиболее часто используются передувки – воздушно-струйный экран образованный плоской приточной струей, истекающей из приточной щели, располагаемой вдоль стороны промышленной ванны. Развиваясь над зеркалом жидкости, струя отделяет пространство помещения от вредных веществ, выделяющихся при проведении процесса в ванне. Струя транспортирует воздух, насыщенный этими веществами к щелевому стоку, располагающемуся вдоль противоположного борта ванны, улучшая возможность локализации загрязненного воздуха и снижая требующийся расход удаляемого воздуха. Этим и объясняются преимущества передувки над обычными бортовыми отсосами, которые также применяются у промышленных ванн. В то же время воздушно-струйный экран позволяет беспрепятственно погружать обрабатываемые детали в ванну и вынимать их из нее.

Основу существующего метода расчета активированных отсосов [1], составляют экспериментальные и аналитические исследования взаимодействия плоской струи и щелевого стока. Эксперименты проводились на небольших моделях, которые помещались в поле прибора Теплера, позволяющего непосредственно наблюдать слегка подогретые воздушные потоки, в том числе улавливание плоской струи щелевым стоком.

В аналитическом исследовании применялся способ наложения потоков и метод интегральных соотношений, позволяющий рассчитывать толщину и другие необходимые характеристики струи, развивающейся в зоне действия стока.

Как базовый изучался вариант взаимодействия струи и стока при их соосном расположении в пространстве вдали от ограничивающих поверхностей. Полученные результаты с определенной коррекцией применялись к расчету передувки у промышленной ванны.

В действительности значительное влияние на работу таких устройств оказывают геометрические ограничения, такие как зеркало жидкости в ванне, борта ванны, которые существенно усложняют картину течения. Струя, развиваясь вблизи зеркала жидкости, настигается на его поверхность, проявляется эффект Коанда. Наличие высоких бортов ванны также усложняет аналитическое описание.

В настоящее время для расчета течений при сложных граничных условиях, таких как воздушные струи в помещениях, и течения вблизи стоков, большое распространение получили численные методы CFD (Calculating Fluid Dynamics) [2-4 и др.].

Метод CFD использован для численного моделирования течений в воздушно-струйных экранах в виде завес у проемов дверей [5-7], экспериментальное исследование подобных течений выполнено в работах [7, 8].

Для локализуемых устройств, какими и являются передувки, важны условия полного улавливания загрязненного примесью воздушного потока наименьшим расходом удаляемого воздуха – условия предельного улавливания. Это условие соответствует наиболее экономичному расходу воздуха и, связанных с ним эксплуатационных затрат на перемещение воздуха, его очистку и подогрев в холодный период года. Такие условия используются, в частности, в работе [9].

В работе [10] методом CFD моделировались двумерные течения, сформированные плоской приточной струей и щелевым стоком при сложных граничных условиях, характерных для воздушно-струйного экрана над зеркалом промышленной ванны. Выявлены качественные соотношения для характерных параметров такого течения в условиях предельного улавливания при различных сочетаниях основных геометрических размеров, таких как: расстояние между приточным устройством и стоком l , расстояние от оси воздушно-струйного экрана до зеркала жидкости h , ширина щелевого стока B . Результаты моделирования позволяют уточнить методику расчета таких устройств, с учетом полученных новых результатов.

Целью данной работы является обработка результатов численного моделирования методом CFD, выполненных в [10], получение необходимых количественных связей между основными расчетными характеристиками и их представление в виде, доступном для практического применения.

Основная часть

За основу принимается подход к расчету воздушно-струйного экрана над промышленной ванной, представленный в [1]. Для реализации такого подхода необходимо знать количественную зависимость относительного расхода в режиме предельного улавливания L^* от основных параметров взаимодействия плоской приточной струи и щелевого стока, расположенных над противоположными бортами промышленной ванны. К ним относятся:

– высота расположения оси струи и стока над зеркалом жидкости в ванне в относительном выражении $h^*=h/l$;

– ширина всасывающей щели стока в относительном выражении $B^*=B/l$.

Причем за характерный геометрический размер принимается расстояние между приточной щелью и стоком, которая равна ширине ванны – величина l . За величину характерного расхода воздуха принимается расход в свободной плоской струе на расстоянии l от места истечения $L_{пл}$, приходящийся на 1 м длины приточной щели, который определяется выражением:

$$L_{пл} = 0,205 \cdot m \cdot v_0 \cdot \sqrt{b \cdot l}, \quad (1)$$

где m – кинематический (скоростной) коэффициент приточного устройства, определяется по справочным данным, для устройства с идеально равномерным полем скорости истечения теоретическое значение $m = 2,62$;

v_0 – скорость истечения струи из приточного устройства;

b – ширина приточной щели.

Тогда:

$$L^* = L/L_{\Pi}$$

Таким образом, по результатам численного исследования [10] должна быть получена зависимость:

$$L^* = f(h^*, B^*) \quad (2)$$

При обработке результатов численного моделирования было установлено, что функция (2) имеет сложную форму с максимумом при $h^* = 0,35$. Поэтому восходящие и нисходящие линии L^* аппроксимировались отдельными семействами кривых, для описания которых использовались полиномиальные зависимости для представления коэффициентов уравнения (2).

Окончательный вид зависимости (2) после обработки описывается громоздкими выражениями при $h^* \leq 0,35$:

$$L^* = (-10,759 \cdot (B^*)^2 + 7,0667 \cdot B^* - 0,111) \cdot (h^*)^2 + (13,676 \cdot (B^*)^2 - 6,3867 \cdot B^* + 0,6786) \cdot h^* + 0,707, \quad (3)$$

при $h^* \geq 0,35$

$$L^* = (-39,435 \cdot (B^*)^2 + 12,83 \cdot B^* - 3,0193) \cdot (h^*)^3 + (84,23 \cdot (B^*)^2 - 28,577 \cdot B^* + 6,5944) \cdot (h^*)^2 + (-60,222 \cdot (B^*)^2 + 21,432 \cdot B^* - 4,832) \cdot h^* + 15,222 \cdot (B^*)^2 - 5,7167 \cdot B^* + 1,9228. \quad (4)$$

Графически эта зависимость представлена на рис. 1.

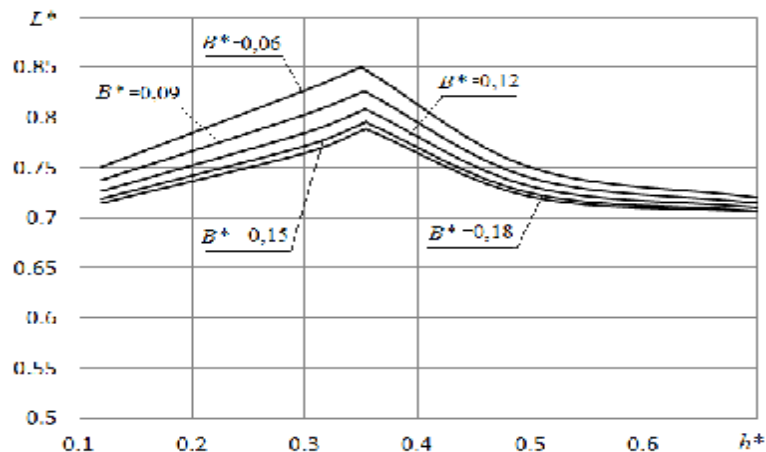


Рис. 1. График зависимости $L^* = f(h^*, B^*)$

Можно отметить, что линии $B^* = 0,18$ и $B^* = 0,24$ очень близки и практически сливаются в одну линию.

Другой важной связью, которая определяется по результатам численного моделирования и применяется в методике расчета, является зависимость минимума максимального значения продольной компоненты скорости в воздушно-струйном экране в режиме предельного улавливания – критическая скорость $v_{кр}$, которая также представляется в относительном безразмерном виде:

$$v_{кр}^* = v_{кр} / v_l, \quad (5)$$

где v_l – максимальная (осевая) скорость в свободной плоской приточной струе на расстоянии l от места выпуска, которая рассчитывается при $m = 2,62$ по формуле:

$$v_l = m \cdot v_0 \cdot \sqrt{b/l}. \quad (6)$$

Характер изменения величины $v_{кр}^*$, в условиях непростой геометрии границ течения, учитывая эффекта настиления струи на зеркало жидкости и влияние бортов ванны, достаточно сложен.

Картины течений различаются в зависимости от значения относительной высоты расположения оси струи и стока над зеркалом жидкости в ванне h^* . На рис. 2 приведены две характерные картины изолиний продольных компонент скорости в воздушно-струйном экране, полученные численным расчетом для режимов предельного улавливания. Пунктиром показаны линии расположения максимальных значений продольных составляющих скорости, из которых находились их минимальные значения – $v_{кр}$.

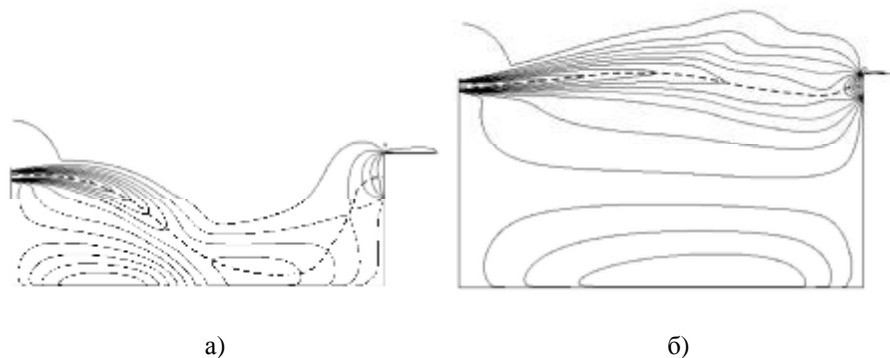


Рис. 2. Расчетная картина течения (в виде продольных составляющих скорости) в воздушно-струйном экране со щелевым стоком над зеркалом жидкости в ванне в режиме предельного улавливания при $l=1$ м, $b=0,02$ м, $v_0=10$ м/с:
а – $h=0,3$ м, $B=0,12$ м, $u=4,9$ м/с; б – $h=0,5$ м, $B=0,06$ м, $u=9,0$ м/с

Так при изменении от величины h^* от 0 до 0,4 проявляется эффект Коанда – настиание струи на поверхность жидкости. Вблизи борта у приточного насадка развивается зона циркуляционного движения, и линия максимальных продольных составляющих скорости потока сильно искривляется. При величинах $h^*>0,4$ зона циркуляции покрывает все зеркало жидкости в ванне, а линия максимальных значений продольной составляющей скорости выравнивается, приближается к оси системы приточный насадок – сток.

Зависимость длины зоны циркуляции $l_{ц}^*=l_{ц}/l$ от величины h^* , полученная обработкой результатов исследования [10], графически показана на рис. 3.

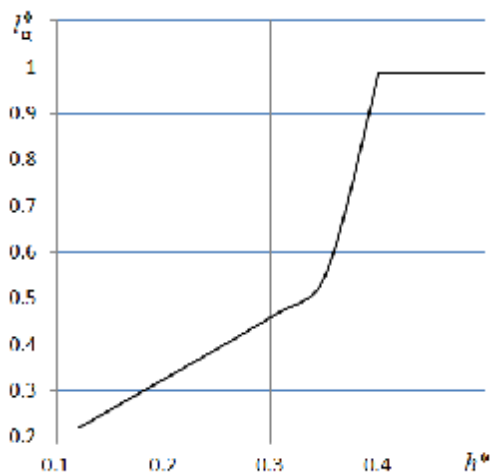


Рис. 3. Расчетная зависимость относительной длины зоны циркуляционного потока $l_{ц}^*=l_{ц}/l$ над зеркалом жидкости

Зависимость $v_{кр}^*$ в режиме предельного улавливания от величин h^* и B^* получена из обработки результатов численного моделирования [10], и приближенно выражается формулами при $h^*\leq 0,3$:

$$v_{кр}^* = -2,1444 \cdot h^* + 1,1385, \tag{7}$$

при $h^* \geq 0,3$

$$v_{кр}^* = (8,6528 \cdot B^* - 7,4917) \cdot (h^*)^2 + (-101383 \cdot B^* + 8,99) \cdot h^* + 2,3367 \cdot B^* - 1,5276. \quad (8)$$

Графически зависимости (7)-(8) представлены на рис. 4. Величина $v_{кр}^*$ при $h^* \leq 0,3$ практически зависит только от относительной высоты h^* . При $h^* \geq 0,3$ определенное влияние оказывает и относительная ширина щели стока B^* .

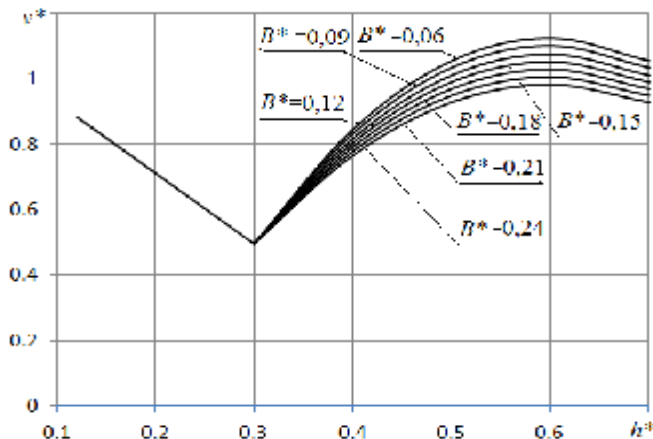


Рис. 4. Зависимость $v_{кр}^*$ от величин h^* и B^* в режиме предельного улавливания

Представленные зависимости (5)-(8) составляют основу метода расчета воздушно-струйного экрана над зеркалом жидкости в промышленной ванне. Другие положения расчета сохраняются, в основном, такими же, какие применяются в методике расчета [1].

Примеры расчета и обсуждение.

Пример расчета 1. Рассчитать воздушно-струйный экран для ванны травления. Температура раствора $T=333$ К. Ширина ванны $l=2,3$ м, длина $a=1,6$ м. Расстояние от оси системы струя-отсос до зеркала жидкости в ванне $h=0,25$ м. Температура воздуха в помещении $T_B=293$ К. Кинематический коэффициент приточного насадка $m=2,5$.

Решение. Принимается ширина приточной щели $b=0,02$ м; ширина щели стока $B=0,23$ м. Определяется $v_{кр}^*$ для настилающейся струи по формуле [1]:

$$v_{кр} = 1,83 \cdot \sqrt{g \cdot l \cdot \Delta T / T_B} = 1,83 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 2,3 \cdot (333 - 293) / 293} = 3,2 \text{ м/с.}$$

При значениях $B^*=0,23/2,3=0,1$ и $h^*=0,25/2,3=0,11$ по (7) или по графику на рис. 4 находится $v_{кр}^*=0,9$. Из определения $v_{кр}^*$ (5) находится $v_l=v_{кр}/v_{кр}^*$, $v_l=3,2/0,9=3,56$ м/с, исходя из (6) рассчитывается скорость истечения струи $v_0=v_l/(m \cdot \sqrt{b/l})$, $v_0=3,56/(2,5 \cdot \sqrt{0,02/2,3})=15,3$ м/с, тогда расход приточного воздуха равен $L_0=v_0 \cdot b \cdot a=15,3 \cdot 0,02 \cdot 1,6=0,49$ м³/с или 1764 м³/ч.

Расход воздуха в свободной струе на расстоянии от приточного насадка $l=2,3$ м определяется по формуле (1) $L_{л}=0,205 \cdot 2,5 \cdot 15,3 \cdot \sqrt{0,02 \cdot 2,3} \cdot 1,6=2,69$ м³/с или 9680 м³/ч.

При значениях $B^*=0,1$ и $h^*=0,11$ по (3) или по графику на рис. 1 находится $L^*=0,72$, тогда расход воздуха, удаляемого через щелевой сток, составит:

$$L=L_{л} \cdot L^*=2,69 \cdot 0,72=1,94 \text{ м}^3/\text{с} \text{ или } 6984 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Результаты такого расчета в 1,4 больше чем по методике [1].

Пример расчета 2. Рассчитать воздушно-струйный экран для ванны латунирования. Температура раствора в ванне $T=299$ К. Ширина ванны $l=1,0$ м, длина $a=1,2$ м. Расстояние от оси системы струя-отсос до зеркало жидкости в ванне $h=0,31$ м. Температура воздуха в помещении $T_B=291$ К. Кинематический коэффициент приточного насадка $m=2,5$.

Решение. Принимается ширина приточной щели $b=0,01$ м; ширина щели стока $B=0,06$ м. Определяется $v_{кр}$ для настилающейся струи по формуле [1]:

$$v_{кр} = 1,83 \cdot \sqrt{g \cdot l \cdot \Delta T / T_B} = 1,83 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 1,0 \cdot (299 - 291) / 291} = 0,95 \text{ м/с.}$$

При значениях $B^*=0,06/1,0=0,06$ и $h^*=0,31/1,0=0,31$ по (7) или по графику на рис. 4 находится $v_{кр}^*=0,5$. Из определения $v_{кр}^*$ (5) находится $v_l=v_{кр}/v_{кр}^*$, $v_l=0,95/0,5=1,9$ м/с, исходя из (6) рассчитывается скорость истечения струи $v_0=v_l/(m\cdot\sqrt{b/l})$, $v_0=1,9/(2,5\cdot\sqrt{0,01/1,0})=7,6$ м/с, тогда расход приточного воздуха равен $L_0=v_0\cdot b\cdot a=7,6\cdot 0,01\cdot 1,2=0,091$ м³/с или 328 м³/ч.

Расход воздуха в свободной струе на расстоянии от приточного насадка $l=1,0$ м определяется по (1) $L_{п}=0,205\cdot 2,5\cdot 7,6\cdot\sqrt{0,01\cdot 1,0}\cdot 1,2=0,47$ м³/с или 1692 м³/ч.

При значениях $B^*=0,06$ и $h^*=0,31$ по (3) или по графику на рис. 1 находится $L^*=0,83$, тогда расход воздуха, удаляемого через щелевой сток, составит:

$$L=L_{п}\cdot L^*=0,47\cdot 0,83=0,39$$
 м³/с или 1404 м³/ч.

В методиках расчета подобных устройств, например, в [1] предполагается, что при величине $h^*>0,15$ плоская приточная струя имеет характеристики более близкие к свободной, чем к полуограниченной струе. Относительный расход удаляемого воздуха для такого случая следовало бы принимать $L^*>1$, по данным [1] $L^*=1,5$. Тогда в данном примере расчетный расход удаляемого воздуха был бы значительно больше $L=L_{п}\cdot L^*=0,47\cdot 1,5=0,705$ м³/с или 2538 м³/ч, что на 81 % больше величины полученной с учетом данного исследования.

Таким образом, представленный материал, полученный на основе численного исследования [10], составляет основу более точного метода расчета подобных устройств. Он позволяет более полно учитывать особенности взаимодействия плоской струи со щелевым стоком при их расположении вблизи от зеркала жидкости в ванне.

В полной методике расчета локализирующего воздушно-струйного экрана над зеркалом жидкости в промышленной ванне, можно пользоваться логикой методики расчета [1] и представленными в данной работе количественными характеристиками.

Возможно, некоторой коррекции требуют уточняющие поправки на подвижность воздуха в помещении и на токсичность выделяющихся из ванны вредных веществ. Кроме того, как показано в работе [10], этот расчет может применяться для воздушно-струйных экранов над ваннами с высокими бортами, обеспечивающими локализацию вредных выделений в период обработки деталей и в период стекания жидкости, когда обработанные детали остаются под защитой воздушно-струйного экрана.

Заключение

На основе расчетов течений в локализуемых воздушно-струйных экранах, выполненных методом CFD, получены количественные характеристики, связывающие параметры плоской приточной струи и щелевого стока, расположенных на одной оси над зеркалом жидкости в промышленной ванне в режиме предельного улавливания.

Представлены в аналитическом виде и в виде графиков зависимости относительного расхода удаляемого воздуха L^* , относительной длины циркуляционной зоны $l_{ц}^*$, а также относительной критической скорости $v_{кр}^*$ от основных геометрических параметров. Такие геометрические параметры также выражены в безразмерном виде: относительная высота оси взаимодействия системы струя-сток h^* и относительная ширины щели стока B^* .

Полученные зависимости $L^*(h^*, B^*)$ и $v_{кр}^*(h^*, B^*)$ составляют основу расчета локализирующих воздушно-струйных экранов над промышленными ваннами. Приведены примеры расчетов расчета воздушно-струйных экранов, иллюстрирующие способ применения полученных зависимостей. Показано их большее соответствие условиям развития течений.

Список библиографических ссылок

1. Посохин В. Н. Аэродинамика вентиляции. М. : АВОК-ПРЕСС. 2008. 209 с.
2. Посохин В. Н., Кареева Ю. Р. Характеристики турбулентной плоской струи в тупике при разном расположении приточных и вытяжных отверстий // Известия вузов. Строительство. 2011. № 7. С. 27–33.

3. Денисихина Д. М., Шупашева Р. Ж., Колубков А. Н. Решение задач распределения воздуха в спортивном зале борьбы // АВОК. 2015. № 4. С. 62–68.
4. Цуляну К. Р., Гуцул В. Г., Зайцев О. Н., Богатикова Н. П. Моделирование работы щелевого отсоса взаимодействующего с плоской газовой струей // Строительство и безопасность. 2012. Вып. 41. С. 235–239.
5. Wang. L. Investigation of the Impact of Building Entrance Air Curtain on Whole Building Energy Use. Air Curtain Study. The Air Movement and control Association International, Inc. 2013. 16 p. URL: <https://www.amca.org> (дата обращения: 03.11.16.).
6. Georgiev E., Stankov P., Markov D. On the numerical study of air curtains. Technical University, Sofia, 2013. 7 p. URL: <http://e-university.tu-sofia.bg> (дата обращения: 03.11.16.).
7. Marnix Van Belleghem, Gregory Verhaeghe, Christophe T'Joen, Henk Huisseune, Peter De Jaeger, Michel De Paepe. Heat Transfer Through Vertically Downward-Blowing Single-Jet Air Curtains for Cold Rooms // Heat Transfer Engineering. 2012. Vol. 33, Issue 14. P. 1196–1206. URL: <https://biblio.ugent.be> (дата обращения: 28.03.17.).
8. Polak J. Experimental study of the airflow distribution in a room with heating equipment. Norwegian University of Science and Technology. 2015. September. 88 p. URL: <https://brage.bibsys.no> (дата обращения: 02.01.17.).
9. Варсегова Е. В., Посохин В. Н. Об условии предельного улавливания потока вредных выделений местным отсосом // Известия вузов. Строительство. 2015. № 11-12. С. 18–22.
10. Бабич Е. К., Бройда В. А. Взаимодействие воздушно-струйного экрана со щелевым стоком // Известия КГАСУ. 2017. № 1 (39). С. 159–165.

Broyda V.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: broida@mail.ru

Babich E.K. – student

E-mail: babich.evgeniy1@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Dependencies for calculating the air-jet screen over an industrial bath

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify and present, in an accessible form for practical applications, the basic dependencies for the calculation of air screens over industrial baths obtained by the CFD method. The parameters of the interaction of a flat jet flow and a localizing slot outlet in air screens depend mainly on the geometric conditions: the distance between the supply and discharge device l , the distance from the axis of the air screen to the liquid mirror h , width of the slot outlet B .

Results. The main results of the research consist in the dependences presented in the dimensionless form, which are required for the calculation of air screens over industrial baths. Such dependencies are given in the form of analytical formulas and in the form of graphs. Because of the complexity of the calculated flows, the analytical description is rather cumbersome and more suitable for a computer calculation program. Graphic materials are available for manual calculations.

Conclusions. The significance of the results obtained for the ventilation of industrial buildings is to more fully and correctly take into account the geometric factors in the calculation of air screens over industrial baths. The examples illustrate how to apply the obtained dependencies.

Keywords: air-jet screen, flat jet flow, outlet, air flow, calculation.

References

1. Posohin V. N. Aerodynamics of ventilation. M. : AVOK-PRESS, 2008. 209 p.
2. Posokhin V. N., Kareeva Y. R. Axially symmetric turbulent jet in a deadlock // *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. 2011. № 3. P. 64–70.
3. Denisikhina D.M, Shupasheva R. Zh., Kolubkov A.N. Solving the problems of air distribution in the sports hall of struggle // *AVOK*. 2015. № 4. P. 62–68.
4. Tsulyanu K. R., Hutsul V. G., Zaitsev O. N., Bogatikova N. P. Simulation of the suction slot cooperating with the plane gas jet // *Stroitelstvo i bezopasnost*. 2012. Issue 41. C. 235–239.
5. Wang. L. Investigation of the Impact of Building Entrance Air Curtain on Whole Building Energy Use. Air Curtain Study. The Air Movement and control Association International, Inc. 2013. 16 p. URL: <https://www.amca.org> (reference date: 03.11.16.).
6. Georgiev E., Stankov P., Markov D. On the numerical study of air curtains. Technical University, Sofia. 2013. 7 p. URL: <http://e-university.tu-sofia.bg> (reference date: 03.11.16.).
7. Marnix Van Belleghem, Gregory Verhaeghe, Christophe T'Joel, Henk Huisseune, Peter De Jaeger, Michel De Paepe. Heat Transfer Through Vertically Downward-Blowing Single-Jet Air Curtains for Cold Rooms // *Heat Transfer Engineering*. 2012. Vol. 33, Issue 14. P. 1196-1206. URL: <https://biblio.ugent.be> (reference date: 28.03.17.).
8. Polak J. Experimental study of the airflow distribution in a room with heating equipment. Norwegian University of Science and Technology. 2015. September. 88 p. URL: <https://brage.bibsys.no> (reference date: 02.01.17.).
9. Varsegova E. V., Posokhin V. N. On a condition limiting the flow of harmful emissions capture local suction // *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. 2015. № 11-12. P. 18–22.
10. Babich E. K., Broyda V. A. Interaction of air screen with a slot outlet // *Izvestiya KGASU*. 2017. № 1 (39). P. 159–165.

УДК 697 (107) 697.03:5(107)

Давыдов А.П. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: ap_Davidov@mail.ru

Валиуллин М.А. – кандидат технических наук, доцент

Димиева А.И. – инженер

E-mail: a.dimieva@bk.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Технические способы изменения коэффициента расхода всасывающих отверстий различной конфигурации

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является разработка технических способов изменения коэффициента расхода всасывающих отверстий различной конфигурации.

Результаты. Высокая эффективность работа всасывающих устройств зависит от точности их расчета, обеспечивающих заданный объем удаляемого воздуха. Регулирование расхода воздуха по площади воздухоприемника осуществляется изменением коэффициента расхода всасывающих отверстий. Получены точные значения коэффициентов расхода всасывающих отверстий различной конфигурации.

Выводы. Значимость для строительной отрасли заключается в том, что полученные значения коэффициентов расхода всасывающих отверстий различной конфигурации позволяют рассчитать воздухоприемное устройство любой геометрии и назначения.

Ключевые слова: всасывающий воздухопровод, отверстие, внутренний экран, коэффициент расхода.

При удалении вредных выделений от специального технологического оборудования используются воздухоприемники различной конструкции [1, 2].

Конструкция местных отсосов от технологического оборудования, как правило, определяется геометрическими параметрами оборудования.

Это могут быть протяженные линейные воздухоприемники, кольцевые воздухоприемники или панели всасывания, предназначенные для улавливания вредных выделений с площадей.

Для достижения высокой эффективности работы таких устройств используются отверстия различной конфигурации – квадратные, прямоугольные, круглые, щелевидные отверстия, отверстия с внутренними экранами. Внутренние экраны предназначены для регулирования расхода воздуха через всасывающие отверстия или щели [3-5]. Расход воздуха может регулироваться также изменением площади самих отверстий [5].

Закономерности работы отверстий и насадков при истечении из них жидкостей или газов достаточно хорошо изучены и освещены в литературе [6, 7]. Эти исследования находят применение при расчете струй различного характера. При этом рассматривается истечение из какого-либо ограниченного пространства (резервуар, воздухораспределитель, отверстие в воздухопроводе) в достаточно большое пространство.

Характеристики всасывающих отверстий, отверстий с внутренними экранами с различными способами их установки изучены и освещены в литературе значительно меньше. Эта задача относится к процессам входа воздуха в весьма ограниченное пространство, соизмеримое с размерами самого отверстия, через которое происходит течение. Несомненный интерес при этом представляют исследования влияния различного рода экранов, устанавливаемых над всасывающими отверстиями.

В настоящей статье приводятся данные экспериментального исследования течения во всасывающем отверстии с внутренним экраном и без него. Исследования ставили своей целью экспериментальное определение изменения коэффициента расхода отверстия μ в зависимости от значений числа Re , а также от относительной высоты поднятия экрана – \bar{h} или угла его установки θ .

Изучение закономерностей работы всасывающих отверстий различной конфигурации с вариантами установки экранов проводилось на аэродинамическом стенде, а также с использованием математического моделирования процессов течения программой «Fluent». Исследования закономерностей изменения коэффициента расхода от указанных выше зависимостей проводились, как для квадратных прямоугольных, так и для круглых отверстий.

Экспериментально изучались четыре случая: 1 – параллельное перемещение экрана над всасывающим отверстием с различными соотношениями сторон; 2 – перемещение экрана под углом к плоскости всасывающего отверстия; 3 – параллельное перемещение экрана с загнутым концом; 4 – круглое отверстие без экрана (табл. 1).

Таблица 1

| Узел | A | B | C | D | E | F | G | H |
|------|-----|-----|-------|-------|----|----|-----|-----|
| X | 110 | 120 | 107,5 | 122,5 | 10 | 10 | 220 | 220 |
| Y | 10 | 10 | – | – | 10 | 30 | 30 | 10 |

Коэффициент расхода μ для всасывающего отверстия определялся по (1):

$$m = V_{\text{овс}} \sqrt{\frac{r}{2p}} \quad (1)$$

Численное значение критерия Рейнольдса определялось по выражению – $Re = \frac{Vd_{\text{экв}}}{\nu}$.

На рис. 1-2 приведены картины течения воздуха в квадратное всасывающее отверстие с внутренним экраном, установленным параллельно к плоскости всасывающего отверстия (рис. 1) и отверстие с закругленным экраном (рис. 2) полученные с использованием программы «Gambit» и «Fluent» при различных значениях относительной высоты поднятия экрана.



Рис. 1. Контуры функции тока скорости воздушного потока при $Re=100000$ (а) $\bar{h}=0,1$, $Re=100000$ (б), относительная высота $\bar{h}=0,1$ экран установлен параллельно плоскости всасывающего отверстия



Рис. 2. Контуры функции тока скорости воздушного потока при $Re=100000$ (а) $\bar{h}=0,1$ и $Re=100000$ $\bar{h}=0,1$ (б), закругленный экран

В постановке задачи течения потока воздуха рассматривался квадратный воздуховод со сторонами $0,2 \times 0,2$ м, внизу которого имеется квадратное отверстие, с установленной над ним экраном соответствующей геометрии. Поток воздуха входит через нижнее отверстие в сторону торцевого выхода.

Схема расчетного варианта воздуховода приведена на рис. 3.

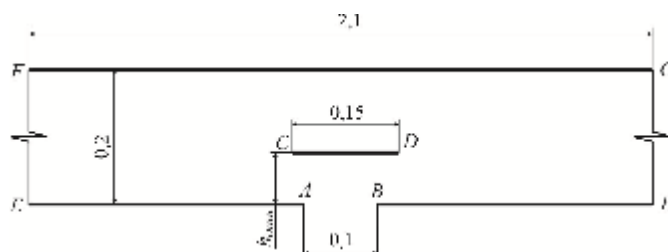


Рис. 3. Схема воздуховода для построения расчетной сетки в препроцессоре «Gambit»

Координаты профиля исследуемого воздуховода для создания расчетной сетки приведены в табл. 1.

Координаты Y точек C и D изменялись в зависимости от значения величины $-\bar{h}$. Задача решалась как двухмерная модель (2D).

Параметры решаемой задачи: Размеры квадратного отверстия – $a=0,1$ м; $b=0,1$ м; Размеры экрана – $a^*=0,15$ м; $b^*=0,15$ м; Относительная высота – $\bar{h}=0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 1,0$; Число $Re=1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000$. Температура воздуха принималась равной 20 °С. Размер сетки 200000 клеток. После итерационного процесса получены контуры функции тока скорости воздушного потока. Контур функции тока скорости воздушного потока представлены на рис. 1-2.

На приведенных рисунках хорошо просматриваются зоны вихревых образований. Зависимости, полученные в ходе математического моделирования соответствуют данным полученным в ходе исследований на аэродинамическом стенде в пределах значений Re выше $60 \times 10^3 \div 100 \times 10^3$.

Коэффициент расхода отверстий с внутренним экраном при перемещении последнего меняется от нуля до коэффициента расхода отверстия, соответствующего случаю, когда экран отсутствует.

Коэффициент расхода отверстия в значительной мере зависит от числа Рейнольдса и растет с его увеличением.

В области $Re=Re_{авт}$ коэффициент расхода отверстия при отсутствии экрана в определенной мере зависит от отношения площади отверстия к площади поперечного сечения воздухопровода.

На рис. 4-6 приведены зависимости коэффициентов расхода отверстий от высоты поднятия или угла наклона экрана и численных значений критерия Рейнольдса при использовании программы «Fluent» и полученные на аэродинамическом стенде. Как видно из графиков, приведенных на рис. 4-6 наблюдается явная зависимость коэффициента расхода рассматриваемого отверстия от численных значений критерия Рейнольдса вплоть до значений $\approx 60 \times 10^3 \div 100 \times 10^3$. Существенное влияние на величину коэффициента расхода оказывает высота поднятия экрана над всасывающим воздух отверстием.

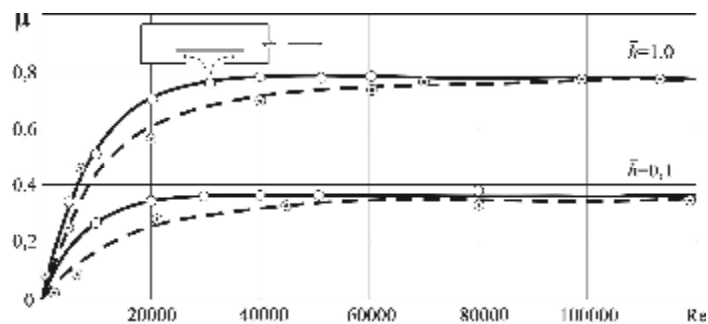


Рис. 4. Зависимости коэффициента расхода отверстия с соотношением сторон 1:1 от высоты поднятия экрана и численных значений критерия Рейнольдса (— «Fluent»; - - - данные эксперимента)

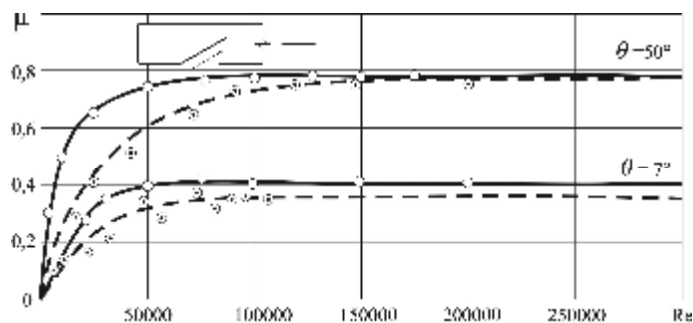


Рис. 5. Зависимости коэффициента расхода отверстия с соотношением сторон 1:1 от угла поднятия экрана и численных значений критерия Рейнольдса (— «Fluent»; - - - данные эксперимента)

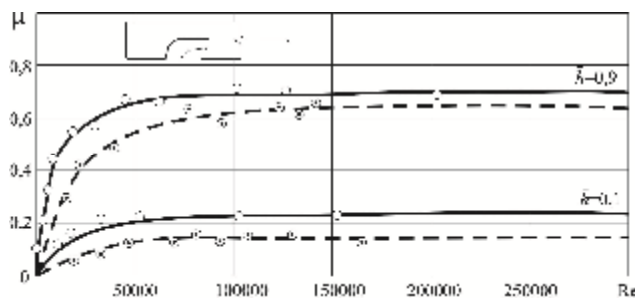


Рис. 6. Зависимости коэффициента расхода отверстия с соотношением сторон 1:1 от высоты поднятия экрана и численных значений критерия Рейнольдса (— «Fluent»; - - - данные эксперимента)

Следует отметить что зависимости, полученные в ходе математического моделирования (рис. 4-6) полностью соответствуют данным полученным в ходе исследований, полученных на аэродинамическом стенде в пределах значений Re выше 60×10^3 . При рассмотрении течений пределах чисел Re от 60×10^3 и ниже расхождение полученных данных составляет значительные величины хотя повторяют характер изменений.

В результате обработки полученных данных предлагаются эмпирические зависимости. В общем виде эмпирическая зависимость, характеризующая изменения коэффициента расхода отверстия всасывающего отверстий с внутренним экраном от числа Re, относительно высоты поднятия экрана – \bar{h} и относительной площади – \bar{F} , выражается зависимостью (2):

$$\mu = (e^{0,62\bar{F}} - 0,15) \cdot (1 - e^{-mRe}) \cdot (1 - e^{-n\bar{h}}). \tag{2}$$

Эмпирическая зависимость, связывающая значения коэффициента расхода круглого отверстия и числа Рейнольдса выражается соотношением (3).

$$\mu = nRe^2 + mRe + k. \tag{3}$$

Геометрические характеристики отверстий и экранов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Геометрические характеристики отверстий и экранов

| Параллельная установка экрана плоскости отверстия | Под углом к плоскости отверстия | Экран с закругленной кромкой | Круглое отверстие без экрана |
|---|--|--------------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | |
| Отношение сторон отверстия 1:1 | Отношение сторон отверстия 1:1 | Отношение сторон отверстия 1:2 | Круглое отверстие |
| Значения $Re < 30000$ | Значения $Re \geq 1,5 \times 10^4$ | Значения $Re \geq 1,5 \times 10^4$ | Значения $Re \geq 200 - 15 \times 10^2$ |
| $0,2 < \bar{h} \leq 0,3$ | $m = 45,0 \times 10^6;$ $n = 0,08$ | $m = 44,5 \times 10^6;$ $n = 1,3$ | $n = 4 \times 10^{-8}; m = 8 \times 10^{-5}; k = -0,0034$ |
| $m = 55,0 \times 10^6;$ $n = 4,75$ | Отношение сторон отверстия 1:2 | Отношение сторон отверстия 1:3 | Значения $Re \geq 5 \times 10^2 - 4 \times 10^3$ |
| $0,1 < \bar{h} \leq 0,2$ | Значения $Re \geq 1,5 \times 10^4$ | Значения $Re \geq 1,5 \times 10^4$ | $n = -3 \times 10^{-8}; m = 3 \times 10^{-4}; k = -0,0119$ |
| $m = 55,0 \times 10^6;$ $n = 5,85$ | $m = 38,5 \times 10^6;$ $n = 0,046$ | $m = 32,0 \times 10^6;$ $n = 1,5$ | Значения $Re \geq 10 \times 10^3 - 6 \times 10^3$ |

Для параллельной установки экрана над плоскостью отверстия значения коэффициентов m и n при $Re \geq 30 \cdot 10^3$ и $\bar{h} \geq 0,3$ $m=55 \times 10^6$, $n=4,27$; при $Re \leq 1,5 \times 10^4$ $m=37,8 \times 10^6$, $n=6,9$; при $Re > 1,5 \times 10^4$ $m=37,8$, $n=6,15$. При отношении сторон отверстия 1:2 для $Re > 4 \times 10^4$ $m=37,8 \times 10^4$, $n=5,4$, для отношения сторон отверстия 1:3 $Re \geq 1,5 \times 10^4$, $m=34,2 \times 10^6$, $n=6,72$.

Рассматривая указанные зависимости можно заключить о возможности широкого использования всасывающих отверстий с внутренними экранами для регулирования расхода воздуха в широком диапазоне.

По результатам экспериментов можно заключить:

1. Получена эмпирическая зависимость, характеризующая изменения коэффициента расхода всасывающего отверстия с внутренним экраном от числа Re , относительно высоты поднятия или угла наклона экрана – $\bar{h}(\theta)$ и относительной площади \bar{F} .

2. Зависимости, полученные в ходе математического моделирования (рис. 4-6) соответствуют данным полученным в ходе исследований на аэродинамическом стенде в пределах значений Re выше $60 \times 10^3 \div 100 \times 10^3$. При рассмотрении течений пределах чисел Re от Re от 60×10^3 и ниже расхождение полученных данных составляет значительную величину.

3. Коэффициент расхода отверстий с внутренним экраном при перемещении последнего меняется от нуля до коэффициента расхода отверстия, соответствующего случаю, когда экран отсутствует.

4. Коэффициент расхода отверстия в значительной мере зависит от числа Рейнольдса и растет с его увеличением.

5. В области $Re = Re_{атм}$ коэффициент расхода отверстия при отсутствии экрана в определенной мере зависит от отношения площади отверстия к площади поперечного сечения воздухопровода.

6. Значения коэффициента расхода круглого отверстия в пределах чисел Re от 20000 до 60000 изменяется в широких пределах от 0,2 до 0,8, что необходимо учитывать при расчетах воздухопроводов.

Условные обозначения

V – скорость воздуха во всасывающем отверстии, м/с;

F – площадь воздухопровода, м;

f – площадь отверстия;

h – высота поднятия экрана, м;

$\bar{h} = h/d_{экв}$ – относительная высота поднятия экрана;

a – ширина отверстия, м; b – длина отверстия, м;

$\bar{F} = f/F$ – относительная площадь;

m, n, κ – эмпирические коэффициенты (табл. 1);

$Re = \frac{Vd_{экв}}{\nu}$ – критерий Рейнольдса;

ν – коэффициент кинематической вязкости, $m^2 \cdot c^{-1}$;

ρ – плотность kg/m^3 ;

$d_{экв}$ – эквивалентный диаметр отверстия, м.

Индексы

$вх$ – входящий;

$экр$ – экран;

$отв$ – отверстие;

$воз$ – воздухоприемник.

Список библиографических ссылок

1. Давыдов А. П., Валиуллин М. А. Уравнение движения воздуха в кольцевом равномерно-всасывающем воздухопроводе переменного сечения // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 142–146.
2. Давыдов А. П., Ланцов А. Е., Ахмерова Г. М. Работа равномерно-всасывающей панели с отверстиями круглого сечения. Казань : ООО «Скрипта», 2013. С. 461–465.
3. Давыдов А. П., Валиуллин М. А. Коэффициент расхода всасывающей щели с внутренним экраном // Известия КГАСУ. 2011. № 3 (17). С. 85–89.
4. Давыдов А. П., Ланцов А. Е., Ахмерова Г. М. Зависимость коэффициента расхода всасывающего отверстия круглого сечения от числа Re : сб. докладов международной научно-технической конф. «Теоретические основы расчета систем ТГВ» / МГСУ. М. : 2013. С. 201–204.
5. Усманов Р. А., Давыдов А. П., Валиуллин М. А. Расчет воздухопроводов равномерной раздачи и всасывания с внутренними экранами, установленными под углом // Вестник КТУ. 2014. № 12. С. 138–140.
6. Альштуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М. : Недра, 1970. 248 с.
7. Альштуль А. Д. Местные гидравлические сопротивления при движении вязких жидкостей. М. : Гостоптехиздат, 1962. 341 с.
8. Abou Al-Sood M. M., Birouk M. Droplet heat and mass transfer in a turbulent hot airstream // Inter. J. Heat Mass Transfer. 2008. P. 1313–1324.
9. Kumada T., Hirota T., Tamura N., Ishiguro R. Heat and mass transfer with liquid evaporation into a turbulent air stream // Letters in Heat and Mass Transfer. 2012. Vol. 9, № 1. P. 1–9
10. Volchkov E. P. Concerning the heat and mass transfer features on permeable surfaces // Inter. J. Heat Mass Transfer. 2013. P. 755–760.

Davydov A.P. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: ap_Davidov@mail.ru

Valiullin M.A. – candidate of technical sciences, associate professor

Dimieva A.I. – engineer

E-mail: a.dimieva@bk.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Technical methods of changing the consumption coefficient
of suction holes of various configurations****Abstract**

Problem statement. The purpose of the work is to develop technical methods for changing the consumption coefficient of suction holes of various configurations.

Results. The high efficiency of the suction devices depends on the accuracy of their calculation, which ensures a given volume of air being removed. The air flow rate is regulated by the air intake area by changing the consumption coefficient of the suction holes. Accurate values of the consumption coefficients of suction holes of various configurations are obtained.

Conclusions. Significance for the construction industry lies in the fact that the obtained values of coefficients of flow of suction holes of different shapes allow you to calculate the air receiver device of any geometry and purpose.

Keywords: suction air line, hole, internal screen, flow coefficient.

References

1. Davydov A. P., Valiullin M. A. The equation of motion of air in the ring evenly – suction air duct of variable cross section // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 2 (16). P. 142–146.
2. Davydov A. P., Lantsov A. E., Akhmerova G. M. Work evenly – the suction plate with the holes of circular cross section. Kazan : ООО «Scripta», 2013. P. 461–465.
3. Davydov A. P., Valiullin M. A. Flow coefficient suction slot with inner screen // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 3 (17). P. 85-89.
4. Davydov A. P., Lantsov A. E., Akhmerova G. M. Dependence of the flow coefficient of the holes of circular cross section of the number Re : *Proceedings of the International / MGSU. M.*, 2013. P. 201–204.
5. Usmanov R. A., Davydov A. P., Valiullin M. A. Calculation of the air ducts still-dimensional distribution and absorption of internal screens installed at an angle // *Herald KTU*. 2014. № 12. P. 138–140.
6. Alshul A. D. Hydraulic resistance. M. : Nedra, 1970. 248 p.
7. Alshul A. D., The local hydraulic resistance during the motion of viscous fluids. M. : Gostoptekhizdat, 1962. 341 p.
8. Abou Al-Sood M. M., Birouk M. Droplet heat and mass transfer in a turbulent hot airstream // *Inter. J. Heat Mass Transfer*. 2008. P. 1313–1324.
9. Kumada T., Hirota T., Tamura N., Ishiguro R. Heat and mass transfer with liquid evaporation into a turbulent air stream // *Letters in Heat and Mass Transfer*. 2012. P. 1–9.
10. Volchkov E. P. Concerning the heat and mass transfer features on permeable surfaces // *Inter. J. Heat Mass Transfer*. 2013. P. 755–760.

УДК 697.3

Замалеев З.Х. – кандидат технических наук, доцентE-mail: kafedra.te@mail.ru**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Тепловой расчет гелиотермального теплоснабжения здания

Аннотация

Постановка задачи. На основании анализа располагаемого количества солнечной энергии и климатических данных района проведен тепловой расчет и дана оценка возможности использования гелиотермального теплоснабжения в климатических условиях Республики Татарстан.

Результаты. Для конкретного здания были запроектированы традиционные системы отопления и горячего водоснабжения. На основании проведенной оценки располагаемого количества солнечной энергии и климатических данных Республики Татарстан проведен тепловой расчет систем гелиотермального отопления, гелиотермального горячего водоснабжения и комбинированной системы (традиционное отопление и гелиотермальное горячее водоснабжение).

Выводы. Сравнение тепловых характеристик и конструктивных элементов показало, что комбинированная система теплоснабжения данного здания в течении 26 недель полностью обеспечивает потребность объекта в теплоснабжении. В зимний период солнечная энергия данного климатического района не может обеспечить необходимое количество тепловой мощности, которая могла бы создать комфортные условия микроклимата в помещениях здания.

Ключевые слова: коллектор, радиация, энергия, гелиосистема, мощность.

Гелиотермальная энергетика, как один из способов использования солнечной энергии, актуальна как для промышленного получения энергии, так и для коммерческого теплоснабжения зданий [1].

С этой точки зрения определенный интерес представляет собой сравнение используемых традиционных систем отопления и горячего водоснабжения с гелиотермальными системами теплоснабжения.

Для решения поставленной задачи первоначально по известной методике были рассчитаны и запроектированы традиционные системы отопления и горячего водоснабжения для конкретного здания [2, 3, 4]. Район строительства г. Казань. Результаты расчётов тепловой нагрузки на системы отопления и горячего водоснабжения по месяцам года приведены в табл. 1.

Интегрируя указанные графики тепловой нагрузки находим величины годовой потребности тепловой энергии на систему отопления $Q_{от}^{Год} = 233238$ МДж и на систему горячего водоснабжения $Q_{ГВС}^{Год} = 71544$ МДж.

Суммарная годовая потребность тепловой энергии составит:

$$Q_{пот}^{Год} = Q_{от}^{Год} + Q_{ГВС}^{Год} = 233238 + 71544 = 304782 \text{ МДж.}$$

Плотность потока солнечной радиации у верхней границы атмосферы на поверхность, расположенную перпендикулярно направлению солнечных лучей, равна $J_{со} = 1,353$ кВт/м², а среднее количество энергии, поступающей за один час на 1 м² этой поверхности, равно 4,871 МДж/м²·ч.

Среднемесячное дневное количество суммарной солнечной энергии, поступающей на наклонную поверхность коллектора солнечной энергии, определяется по формуле:

$$\bar{E}_к = \bar{R} \cdot \bar{E}, \quad (1)$$

где \bar{E} – среднемесячное дневное количество суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, МДж/м²·сут;

\bar{R} – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающих на наклонную и горизонтальную поверхности.

Таблица 1

Тепловые нагрузки на систему отопления и горячего водоснабжения

| Месяц | Средняя месячная и годовая температура | | | Температура почвы на глубине 2,4 м | Средняя месячная тепловая нагрузка | | |
|----------------------|--|------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------|
| | t_{\max} | t_{\min} | $t_{\text{ср}}$ | | на систему отопления | на систему ГВС | суммарная |
| | °C | °C | °C | | Вт | Вт | Вт |
| Январь | -5,1 | -21,2 | -12,8 | 4,5 | 18 770 | 2 349 | 21 119 |
| Февраль | -4,6 | -20,2 | -11,9 | 3,5 | 18 090 | 2 396 | 20 486 |
| Март | 0,2 | -12,3 | -5,7 | 2,8 | 12 716 | 2 428 | 15 144 |
| Апрель | 11,6 | -1,2 | 4,4 | 2,4 | 5 164 | 2 447 | 7 611 |
| Май | 18,4 | 6,4 | 13,1 | 3,4 | | 2 401 | 2 401 |
| Июнь | 23,1 | 13,6 | 17,8 | 6,0 | | 2 280 | 2 280 |
| Июль | 24,0 | 16,1 | 20,2 | 8,3 | | 2 173 | 2 173 |
| Август | 23,4 | 14,0 | 17,8 | 10,1 | | 2 089 | 2 089 |
| Сентябрь | 16,7 | 7,2 | 11,6 | 10,8 | | 2 056 | 2 056 |
| Октябрь | 8,7 | -1,8 | 3,9 | 9,9 | 5 572 | 2 098 | 7 670 |
| Ноябрь | 2,0 | -10,8 | -3,6 | 8,0 | 11 695 | 2 187 | 13 882 |
| Декабрь | -2,8 | -17,1 | -9,8 | 6,0 | 15 981 | 2 280 | 18 261 |
| Среднегодовая | 6,2 | 1,4 | 3,8 | 6,3 | 4 156 | 2 265 | 9 598 |

На основании выполненных расчетов построены графики помесячного изменения тепловой нагрузки на систему отопления и систему горячего водоснабжения (рис. 1).

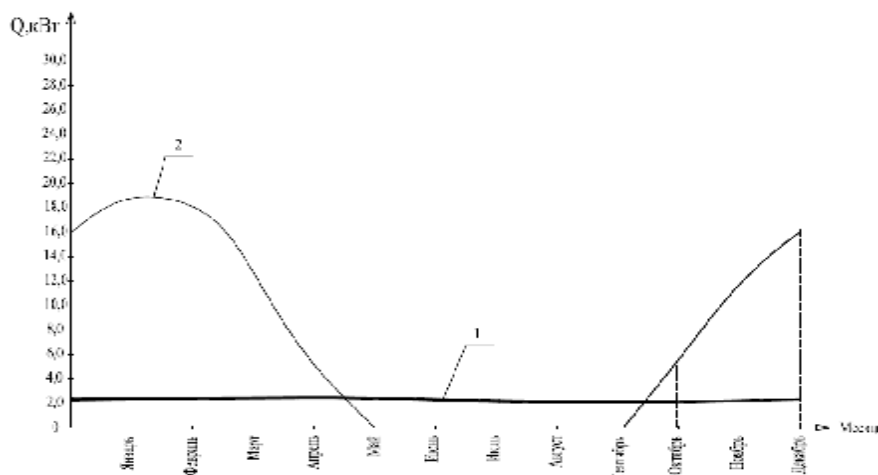


Рис. 1. Годовые графики тепловой мощности:

1 – тепловая мощность традиционной системы горячего водоснабжения;

2 – тепловая мощность традиционной системы отопления

Для определения положения солнечного коллектора необходимо учитывать следующие основные условные параметры:

- широта места установки φ ;
- часовой угол ω ;
- угол солнечного склонения δ ;
- угол наклона к горизонту β ;
- азимут α .

Интенсивность потока солнечного излучения для определенного положения солнечного коллектора вычисляется по формуле:

$$J_k = J_s \cdot P_s + J_d \cdot P_d, \quad (2)$$

где J_s – интенсивность потока прямого солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность;

J_d – интенсивность потока рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность;

P_s – коэффициент положения солнечного коллектора для прямого солнечного излучения;
 P_d – коэффициент положения солнечного коллектора для рассеянного солнечного излучения.

$$P_s = \frac{0,259 \sin \delta + 0,966 \cos \delta \times \cos \omega}{\sin \alpha}, \quad (3)$$

$$P_d = \cos^2 \frac{\beta}{2}. \quad (4)$$

Для весеннего и осеннего периодов времени года угол наклона солнечного коллектора принимаем равным значению широты местности $\beta=56^\circ$. Для зимнего периода к этому значению прибавляем 15 градусов, а летом отнимаем от этого значения 15 градусов.

Тепловой расчет системы солнечного отопления рекомендуется выполнять для апреля месяца, когда вся тепловая нагрузка должна обеспечиваться за счет солнечной энергии.

Угол солнечного склонения в 12:30 местного времени 15 апреля определяем по формуле:

$$\delta = 23,45 \sin(360 \frac{284+n}{365}) = 9,78^\circ, \quad (5)$$

где $n=106$ – порядковый номер для даты 15 апреля в году, отсчитанный от 1 января.

Расчеты по формулам (3)-(4) дали следующие значения коэффициентов: $P_s=1,4242$; $P_d = 0,7796$.

Плотность суммарного потока солнечной радиации при ясном небе для середины апреля в 12:30 местного времени, поступающего на поверхность солнечного коллектора, установленного на кровле проектируемого здания, расположенного на широте $\varphi=56^\circ$ с азимутом α и углом наклона к горизонту $\beta=56^\circ$ определяем по формуле (2):

$$J_k = 0,58 \cdot 1,4242 + 0,14 \cdot 0,7796 = 0,9352 \text{ кВт/м}^2.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2. На рис. 2 представлены часовые графики плотности суммарного потока солнечной радиации для середины апреля, середины июня, середины декабря [5, 6]. Интегрируя график суточного изменения плотности потока солнечной энергии для середины апреля, определяем поток солнечной радиации, поступающей на единицу площади поверхности коллектора, установленного на кровле здания $\Sigma J_k = 6,734 \text{ кВт} \cdot \text{час/м}^2$ или $\Sigma Q_k = 24,24 \text{ МДж/м}^2$.

Таблица 2

**Плотность потока солнечной радиации при ясном небе,
поступающей на поверхность солнечного коллектора**

| 15 апреля (n=106) | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|
| Время | 04:56 | 06:30 | 09:30 | 12:30 | 15:30 | 18:30 | 19:04 |
| δ ,град | 9,78 | 9,78 | 9,78 | 9,78 | 9,78 | 9,78 | 9,78 |
| β ,град | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| P_s | 0 | 0,000 | 1,3135 | 1,4242 | 1,3135 | 0,0056 | 0 |
| P_d | 0 | 0,7796 | 0,7796 | 0,7796 | 0,7796 | 0,7796 | 0 |
| J_k ,кВт/м ² | 0 | 0,0546 | 0,7371 | 0,9352 | 0,5323 | 0,0235 | 0 |
| 15 июня (n=167) | | | | | | | |
| Дата | 15 июня (n=167) | | | | | | |
| Время | 03:16 | 06:30 | 09:30 | 12:30 | 15:30 | 18:30 | 20:44 |
| δ ,град | 23,35 | 23,35 | 23,35 | 23,35 | 23,35 | 23,35 | 23,35 |
| β ,град | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| P_s | 0 | 0,3122 | 1,0549 | 1,1750 | 1,0549 | 0,3140 | 0 |
| P_d | 0 | 0,8774 | 0,8774 | 0,8774 | 0,8774 | 0,8774 | 0 |
| J_k ,кВт/м ² | 0 | 0,1601 | 0,7576 | 0,9688 | 0,6222 | 0,0991 | 0 |
| 15 декабря (n=350) | | | | | | | |
| Дата | 15 декабря (n=350) | | | | | | |
| Время | | 08:28 | 09:30 | 12:30 | 15:32 | | |
| δ ,град | | 23,35 | 23,35 | 23,35 | 23,35 | | |
| β ,град | | 71 | 71 | 71 | 71 | | |
| P_s | | 0 | 21,4021 | 5,3641 | 0 | | |
| P_d | | 0 | 0,6628 | 0,6628 | 0 | | |
| J_k ,кВт/м ² | | 0 | 0,8760 | 0,6768 | 0 | | |

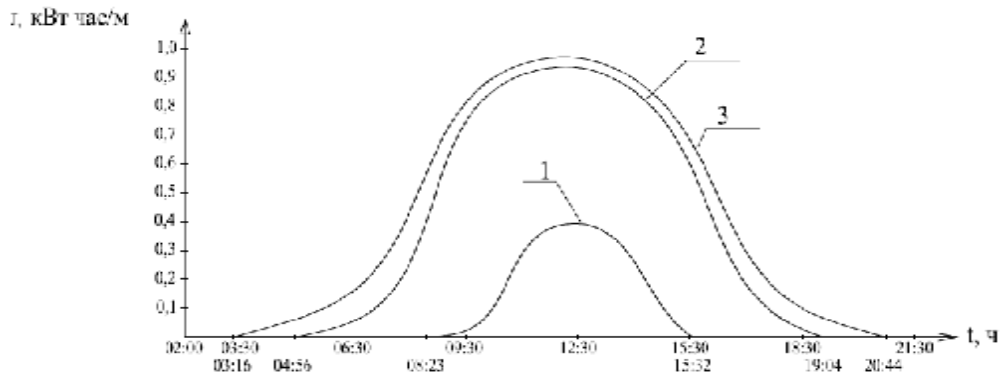


Рис. 2. Плотность суммарного потока (прямого и рассеянного) солнечной радиации:

- 1 – 15 декабря $E=5,19 \text{ МДж/м}^2$, $J=1,442 \text{ кВт}\cdot\text{час/м}^2$;
 2 – 15 апреля $E=24,24 \text{ МДж/м}^2$, $J=6,734 \text{ кВт}\cdot\text{час/м}^2$;
 3 – 15 июня $E=28,12 \text{ МДж/м}^2$, $J=7,808 \text{ кВт}\cdot\text{час/м}^2$

Для расчета гелиотермального теплоснабжения здания был выбран вакуумный солнечный коллектор модели SCH-30 с рабочей площадью поглощения одной трубки $F_{\text{тр}}=0,133 \text{ м}^2$ [7] число вакуумных трубок $n=30$.

Интегрируя полученные графики определяем суточную потребность тепловой энергии на отопление в указанные периоды.

Для середины апреля $\Sigma Q_p = 378,4 \text{ МДж}$; для середины декабря $\Sigma Q_p = 948,6 \text{ МДж}$.

Необходимое количество вакуумных трубок солнечных коллекторов модели SCH [8] определяется по формуле:

$$n = \frac{\Sigma Q_p}{\Sigma Q_k \cdot F_{\text{тр}} \cdot K_{\text{погл}} \cdot \eta_k}, \quad (5)$$

где $K=0,92$ – степень поглощения вакуумной трубки;

$\eta=0,67$ – коэффициент полезного действия трубки модели SCH [9].

На основании данных табл. 1 расчетная мощность системы отопления для середины апреля составит $Q_p = 5164 \text{ Вт}$, для середины декабря – $Q_p = 15981 \text{ Вт}$.

На основании данных средних месячных и суточных температур по срокам, строим суточные графики для середины апреля и середины декабря (рис. 3-4).

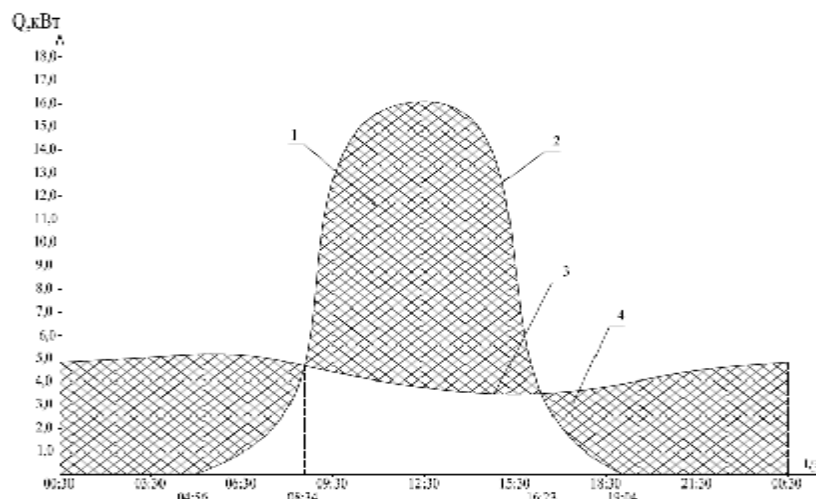


Рис. 3. Расчетные мощности гелиотермального отопления в середине апреля:

- 1 – Область аккумуляции тепла $Q_{\text{ак}}=262,25 \text{ МДж}$;
 2 – Расчетная тепловая мощность солнечных коллекторов SCH-30;
 3 – Расчетная тепловая мощность системы отопления;
 4 – Область расходования тепла $Q_{\text{ак}}=237,37 \text{ МДж}$

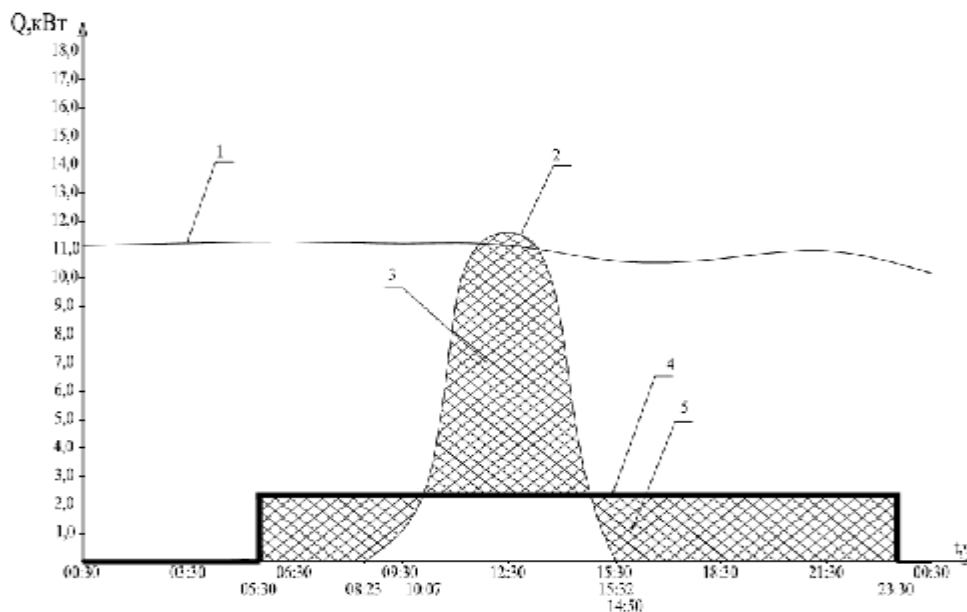


Рис. 4. Расчетные мощности геотермального отопления и горячего водоснабжения в середине декабря:

- 1 – Расчетная тепловая мощность системы отопления;
- 2 – Расчетная тепловая мощность солнечных коллекторов SCH-30;
- 3 – Область аккумуляции теплоты $Q_{ак}=108,58$ МДж;
- 4 – Расчетная тепловая мощность системы горячего водоснабжения;
- 5 – Область расходования теплоты $Q_{ак}=100,55$ МДж

Таким образом, для середины апреля по расчету принимаем к установке 7 солнечных коллекторов модели SCH-30 с размерами $1970 \times 2700 \times 155$ мм.

Количество коллекторов для солнечного отопления в середине декабря увеличится до 75 штук, что совершенно невозможно. Этот вариант геотермального отопления отклоняется.

Для проектирования системы геотермального отопления необходимо также рассчитать и подобрать тепловой аккумулятор. По вычисленной величине аккумулируемой тепловой энергии был подобран аккумулятор тепла «Hotstream» модели ACQ-6,0-НІ-3000 [10].

Солнечные коллекторы и аккумулятор теплоты со змеевиком образуют замкнутую часть циркуляции теплоносителя, в качестве которого был выбран антифриз Antefrogens'OLHT.

Основной тепловой расчет геотермального водоснабжения выполняется для месяца, когда тепловая нагрузка на горячее водоснабжение максимальна (середина апреля). Проверочный расчет геотермального водоснабжения выполняется для декабря (минимальный поток солнечной энергии). В эти периоды вся тепловая нагрузка на систему горячего водоснабжения должна обеспечиваться за счет солнечной энергии. Поток солнечной радиации в апреле месяце был определен ранее. Расчет для середины декабря дал следующие результаты: $\delta = -23,37^\circ$; $P_S = 5,3641$; $P_d = 0,6628$; $J_k = 0,6768$ кВт/м².

Интегрируя график суточного изменения плотности потока солнечной радиации для середины декабря (рис. 2), определяем поток солнечной энергии, поступающей на единицу площади поверхности коллектора $\Sigma Q_k = 5,19$ МДж/м².

Суточная потребность тепловой энергии на горячее водоснабжение: середина апреля $\Sigma Q_{Г.В.С.} = 158,6$ МДж; середина декабря $\Sigma Q_{Г.В.С.} = 152,2$ МДж.

На основании формулы (5) и полученных тепловых нагрузок определяем необходимое количество солнечных коллекторов для полного обеспечения потребности горячего водоснабжения:

- середина апреля $n=3$;
- середина декабря $n=12$.

На рис. 5 представлены годовые графики мощности 12-ти установленными солнечными коллекторами на отопление и горячее водоснабжение. Суммарная годовая выработка тепловой энергии солнечными коллекторами комбинированной системы составит $\Sigma Q = 130913$ МДж. На основании выполненных расчетов можно сделать вывод, что запроектированная комбинированная система теплоснабжения в период со второй декады марта по третью декаду октября мощность солнечных коллекторов полностью обеспечивает потребность здания в теплоснабжении, т.е. использование природного газа на цели отопления и горячего водоснабжения может быть приостановлено.

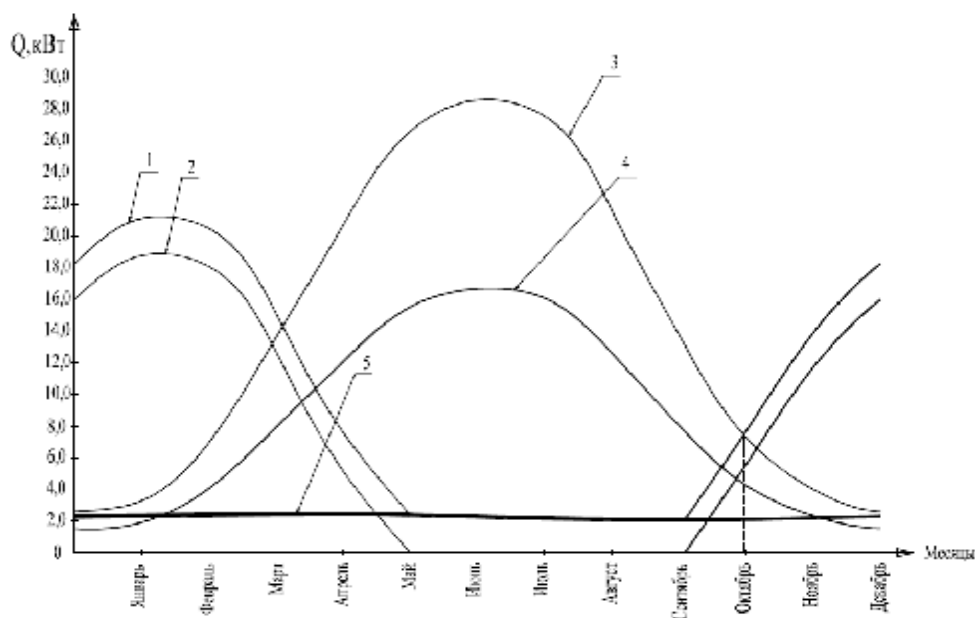


Рис. 5. Годовые графики тепловой мощности отопления и горячего водоснабжения:

- 1 – График суммарной потребной тепловой мощности комбинированной системы;
- 2 – График потребной тепловой мощности системы отопления;
- 3 – График тепловой мощности солнечных коллекторов SCH-30;
- 4 – График тепловой мощности солнечных коллекторов SCH-30;
- 5 – График потребной тепловой мощности системы горячего водоснабжения

Таким образом, на основании выполненных расчетов можно сделать вывод, что запроектированная гелиотермальная система горячего водоснабжения полностью обеспечит потребность в тепловой энергии.

Определенный интерес представляет рассмотрение варианта системы комбинированного теплоснабжения объекта:

- горячее водоснабжение полностью и круглосуточно обеспечивается за счет тепловой энергии, вырабатываемой солнечными коллекторами;
- отопление осуществляется за счет тепловой энергии, вырабатываемой одноконтурным газовым котлом и солнечными коллекторами.

Для запроектированных систем теплоснабжения данного объекта была определена экономическая эффективность на основании проведенного расчета их стоимости.

Сметная стоимость традиционной системы отопления – 471592 руб.

Сметная стоимость традиционной системы горячего водоснабжения – 57980 руб.

Сметная стоимость гелиотермального отопления – 879196 руб.

Срок окупаемости без учета эксплуатационных затрат и коэффициента инфляции такой системы составит 74 года.

Сметная стоимость гелиотермальной системы горячего водоснабжения 1090826 руб. Срок окупаемости 94 года.

Сметная стоимость комбинированной системы теплоснабжения – 1264826 руб. Срок окупаемости 28 лет.

Список библиографических ссылок

1. да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. М. : «Интеллект» МЭИ, 2010. 704 с.
2. Кувшинов Ю. Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий. М. : Ассоциации строительных вузов, 2010. 320 с.
3. Переведенцев Ю. П., Наумов Э. П. Климат Казани и его изменения в современный период. Казань, 2006. 215 с.
4. Баранов Н. Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии. М. : МЭИ, 2012. 384 с.
5. Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В., Кузнецова В. А., Малинин Н. К. Солнечная энергетика. М. : МЭИ, 2011. 276 с.
6. Бутузов В. А., Бутузов В. В. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии. М. : Интехэнерго, Теплоэнергетик, 2015. 300 с.
7. Lund J., Freeston D., Boydt T. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review Proc. WGC-2010. Bali, 2010. С. 25–29.
8. «Renewables 2015 Global Status Report» REN21 c/o UNEP 15, Rue de Milan F-75441 Paris CEDEX 09 France.
9. Pagnarsson A. Geothermal Development in Iceland. 2005-2009 / Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali. Indonesia, 2010. С. 25–29
10. Meyer J.-P. To each his own J.-P.Meyer. Sun, Wind Energy, 2010. С. 65–69.

Zamaleev Z.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: kafedra.te@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Thermal calculation of solar heat supply of a building

Abstract

Problem statement. The thermal design were carried out based on the analysis of available solar energy and climatic data of the Republic of Tatarstan. Evaluation of the possibility of using heliothermal heat supply in climatic condition of the district were conducted.

Results. Traditional heating and hot water supply system were designed for a particular building. The thermal design of solar thermal heating systems, solar thermal hot water supply and combined system (traditional heating and solar thermal hot water supply) were performed according to the estimation of the available amount of solar energy and climatic data of the Republic of Tatarstan.

Conclusion. Comparison of thermal characteristics of constructive elements showed that the combined heat supply system of this building during 26 weeks fully meets heat supply requirements. The solar energy of given climatic region in winter cannot provide the necessary amount of heat power, and as a result cannot create a comfortable indoor climate in the building.

Keywords: collector, radiation, energy, solar system, power.

References

1. da Roza A. Renewable energy sources. Physical and technical basis: tutorial. М. : «Intellekt» MEI, 2010. 704 p.
2. Kuvshinov Yu. Ya. Energy saving in the building climate management system. М. : Associacee stroitelnyh vuzov, 2010. 320 p.

3. Perevedencev Yu. P., Naumov E. P. Climate of Kazan and its changes in the modern period. Kazan, 2006. 215 p.
4. Baranov N. N. Non-traditional sources and methods of energy conversion: textbook for high schools. M. : MEI, 2012. 384 p.
5. Vissarionov V. I., Derygina G. V., Kuznecova V. A., Malinin N. K. Solar power engineering. M. : MEI, 2011. 276 p.
6. Butuzov V. A., Butuzov V. V. The use of solar energy for the production of thermal energy. M. : Intekhenergo, Teploenergetik, 2015. 300 p.
7. Lund J., Freeston D., Boyd T. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review Proc. WGC-2010. Bali; Indonesia, 2010. P. 25–29.
8. «Renewables 2015 Global Status Report» REN21 c/o UNEP 15, Rue de Milan F-75441 Paris CEDEX 09 France.
9. Pagnarsson A. Geothermal Development in Iceland. 2005-2009 / Proceedings of World Geothermal Congress 2010, Bali. Indonesia, 2010. P. 25–29.
10. Meyer J.-P. To each his own J.-P. Meyer. Sun, Wind Energy, 2010. P. 65–69.

УДК 621.6

Осипова Л.Э. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: osipovalilija@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Методы оценки риска эксплуатаций магистральных газопроводов

Аннотация

Постановка задачи. Эксплуатация магистрального трубопроводного транспорта сопряжена со значительным риском, поскольку разгерметизация (разрушение) какого-либо из элементов трубопровода приводит к попаданию в окружающую среду транспортируемых продуктов, как из самого разрушенного оборудования, так и из смежного, если оно в момент аварии не отключено запорно-отсечной арматурой. Так для анализа опасностей и оценки степени риска аварий при эксплуатации магистральных газопроводов применяют риск-ориентированный подход для оптимизации необходимых организационно-технических мер предупреждения аварий и недопущения возникновения угроз более крупных аварий.

Результаты. Проведен анализ аварийности на магистральном трубопроводном транспорте России в соответствии с ФЗ РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Для существующего отвода от газопровода высокого давления по адресу: РТ, Рыбно-Слободский район, 878 км автодороги М-7 «Волга» определена вероятность возникновения аварии. Для участка трассы, где вероятность возникновения аварии наибольшая, рассчитан график суммарной динамики истечения газа (разрыв газопровода – гильотинный, на полное сечение), по которому можно определить время полного опорожнения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в уменьшении риска возникновения аварий в сфере газопроводного транспорта, что в свою очередь сокращает объем средств, резервируемых предприятием для их ликвидации.

Ключевые слова: авария, газопровод, разгерметизация, анализ риска, дерево событий.

Известны проблемы, которые возникают при эксплуатации магистральных газопроводов [1, 2]. Снижение аварийности на объектах магистрального транспорта углеводородов является актуальной задачей общества.

Риск-ориентированный подход служит для выявления, анализа и прогнозирования опасностей возможных аварий, позволяет оценить масштабы последствий аварий и определить компенсационные выплаты пострадавшим. Широкое применение риск-ориентированного подхода при организации государственного контроля повышает безопасную эксплуатацию объектов магистрального трубопроводного транспорта.

Согласно статистическим данным РФ основную опасность представляет эксплуатация линейной части магистральных газопроводов, где для сухопутных участков трубопроводов среднестатистическое значение частоты аварий $l_{cp} = 0,2$ аварий/ (тыс. км год) и $l_{cp} = 0,36$ аварий/ (тыс. км год) для подводных переходов МГ.

Общая протяженность линейной части магистральных трубопроводов согласно годовому отчёту о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2016 г. составляет более 266,4 тыс. км, из которых:

- магистральные газопроводы – 188,4 тыс. км;
- магистральные нефтепроводы – 54,8 тыс. км;
- магистральные продуктопроводы – 23,2 тыс. км, в том числе:
 - аммиакопроводы – 1,4 тыс. км;
 - трубопроводы ШФЛУ – 3,8 тыс. км.

В 2016 г. количество аварий на ОПО магистрального трубопроводного транспорта понизилось на 15,4 %, из них на газопроводах – на 1 случай, на нефтепроводах и нефтепродуктопроводах – аварийность не изменилась, на аммиакопроводах – на 1 случай. Данные аварийности по отраслям промышленности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Распределение аварийности по отраслям промышленности

| Отрасли промышленности | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Газопроводы | 16 | - | - | 9 | 14 | 16 | 9 | 8 | 10 | 9 |
| Нефтепроводы | 13 | - | - | 1 | 2 | 5 | 2 | - | 1 | 1 |
| Нефтепродукто-проводы | 2 | - | - | 3 | 1 | - | 1 | - | 1 | 1 |
| Аммиакопроводы | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - |
| ПХГ (подземное хранение газа) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Всего: | 31 | - | - | 13 | 17 | 21 | 12 | 8 | 13 | 11 |

Согласно проанализированным статистическим данным Ростехнадзора, причины аварий можно условно разделить на шесть групп. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Распределение аварий на ОПО магистрального транспорта газа и транспорта нефти по причинам возникновения

| Аварии магистрального трубопроводного транспорта газа | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Газопроводы | | | | | | | | | | |
| Брак строительства/изготовления | 4 | 5 | 8 | 2 | 2 | 9 | 4 | - | - | 3 |
| Коррозия металла трубы (КРН) | 7 | 14 | 6 | 6 | 5 | 6 | 2 | 6 | 8 | 5 |
| Ошибочные действия персонала при эксплуатации | - | - | 1 | - | 1 | - | - | 1 | - | - |
| Износ оборудования | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - |
| Возникновения стихийных явлений природного происхождения | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - |
| Механическое воздействие | 5 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 | - |
| Общее число аварий | 16 | 20 | 16 | 9 | 14 | 16 | 9 | 8 | 10 | 8 |
| Нефтепроводы | | | | | | | | | | |
| Конструктивные недостатки | 3 | - | - | - | 1 | 1 | - | - | 1 | - |
| Брак строительства/изготовления | - | - | 3 | 1 | - | 2 | 2 | - | - | - |
| Коррозия металла трубы (КРН) | - | - | 1 | - | - | - | - | - | 1 | 1 |
| Износ оборудования | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - |
| Механическое воздействие | - | 2 | 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| Несанкционированные врезки | 10 | 1 | 3 | 1 | 1 | - | - | - | - | 1 |
| Нарушение порядка проведения опасных работ | - | 2 | - | - | - | 1 | - | - | - | - |
| Общее число аварий | 13 | 5 | 7 | 2 | 2 | 5 | 2 | - | 1 | 2 |

События аварий на магистральных газопроводах высокого давления в большинстве случаев при воспламенении газа, не сопровождаются взрывом. Одна из главных причин аварий является разгерметизация трассы (коррозия трубопровода), с последующим выбросом газа. Чуть реже встречаются аварии, произошедшие по вине нарушения правил безопасности при подготовке магистрального газопровода к испытанию. Также после проведения анализа литературных источников [3-6, 9, 10] было выявлено, что аварийные случаи на трубопроводах происходят при проведении земельных работ и несанкционированных врезок.

Анализ зарегистрированных аварий за 2007-2016 г. [7-8] показал, что основная часть аварий приходится на газопроводах с малой протяженностью и малыми диаметрами. На рис. 1 представлено «дерево событий» для объектов магистральных газопроводов высокого давления, из которого видно, что основной вклад приходится на линейную часть газопровода.

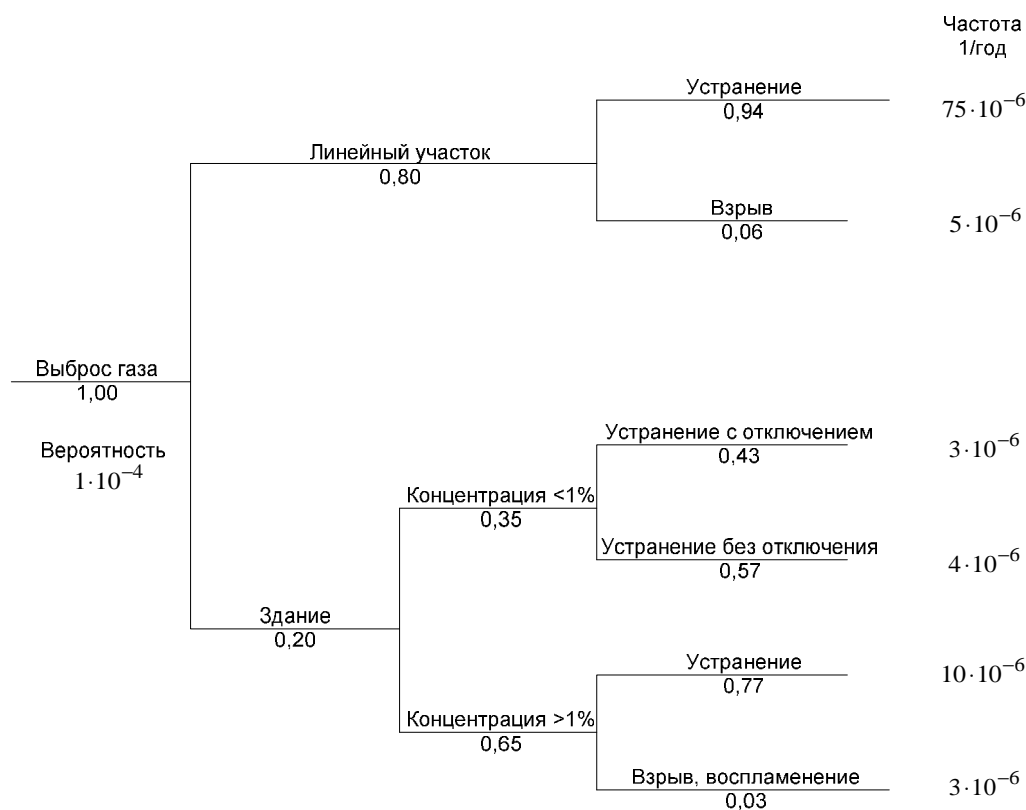


Рис. 1. Дерево событий

Согласно, методическим указаниям по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром», проведён анализ риска для отвода по адресу: РТ, Рыбно-Слободский район, 878 км автодороги М-7 «Волга». Газопровод высокого давления ($P_{y \leq 6,0}$ кгс/см²) выполненный из полиэтиленовых труб ПЭ 100 ГАЗ SDR11-160Ч14,6 по ГОСТ Р 50838-2009 с коэффициентом запаса прочности 2,8, имеет D159x4,5. Протяженность трассы 8264,9 м. Способ прокладки ГВП – подземный на глубине 1,5 м. Переходы через ручьи и автодороги выполнены в футляре из полиэтиленовых труб ПЭ 100 ГАЗ SDR 11-225Ч20,5 с коэффициентом запаса прочности 2,8. Протяженность трассы 8264,9 м, максимальный расход газа составляет 1644 м³/час.

Для снижения давления газа с высокого ($P_{y \leq 4,5}$ кгс/см²) на среднее ($P_{y \leq 0,4}$ кгс/см²) и поддержания на заданном уровне предусмотрен шкафной газорегуляторный пункт ГРПШ-13-2Н-У1 с регулятором РДГ 50Н. Пропускная способность при входном давлении 4,5 кгс/см² составляет 2362,5 м³/час. Расчётное давление газа на выходе из ГРПШ 0,4 кгс/см².

После врезки отвода в магистральный газопровод «Шумково», предусмотрена установка отключающего устройства – задвижка в надземном исполнении в сетчатой ограде 3,1Ч1,55Ч1,6 м. Полиэтиленовый газопровод укладывается в траншею змейкой. Над полиэтиленовым газопроводом предусмотрена прокладка сигнальной ленты желтого цвета шириной не менее 0,2 м с несмываемой надписью: «Осторожно! Газ». Укладывается на расстоянии не менее 0,2 м от верха присыпанного полиэтиленового газопровода для предупреждения при ведении земляных работ. Общая характеристика участков газопровода представлена в табл. 3.

Продольный профиль трассы участка представлен на рис. 2. На начальном и конечном участках отвода установлены отсекающие задвижки (на рис. 2 не показаны).

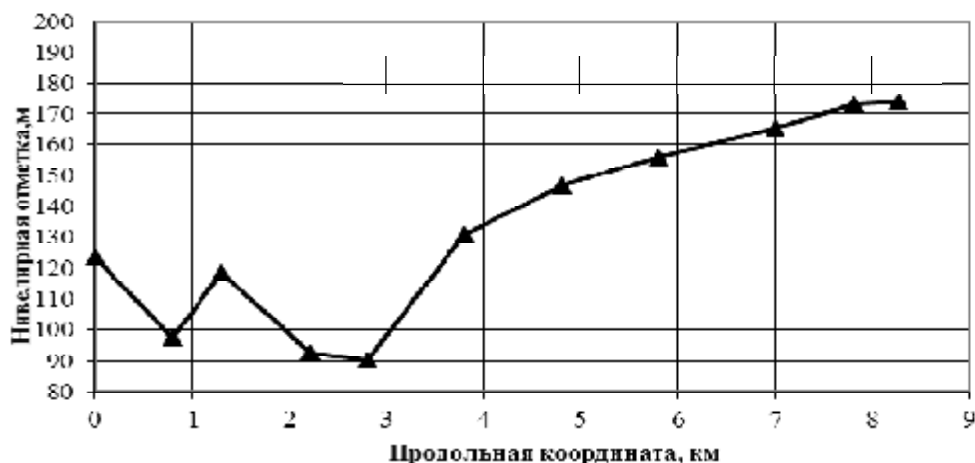


Рис. 2. Схема трассы газопровода

При проведении расчетов по вероятности возникновения аварии длина отвода была разбита на 10 участков переменной длины (на рис. 2 показаны точками). Предполагается, что в пределах каждого участка основные характеристики, как самой трассы, так и окружающей территории могут быть приняты постоянными. Тем не менее, на участках с резким изменением каких-либо свойств (пересечение ручьев, оврагов) проводилось разбиение участка на более мелкие отрезки и отдельный расчет опасностей и степеней риска для более узких зон. В дальнейшем эти показатели суммировались.

Таблица 3

Общая характеристика участков газопровода

| Номер участка | Длина участка, км | Нивелирная отметка, м | Особенности участка |
|---------------|-------------------|-----------------------|--|
| 0 | | 123,50 | |
| 1 | 0,8 | 97,50 | Входной участок (пульсации давления); Отсекающая задвижка; Естественные изгибы (4 шт.); Пересечение с автодорогой |
| 2 | 0,5 | 118,50 | Пересечение с ручьем; Естественные изгибы (3 шт.) |
| 3 | 0,9 | 92,82 | Пересечение с автодорогой Естественные изгибы (3 шт.) |
| 4 | 0,6 | 90,30 | Пересечение с ручьем Естественные изгибы (3 шт.) |
| 5 | 1 | 131,00 | Пересечение с автодорогой Естественные изгибы (4 шт.) |
| 6 | 1 | 146,58 | Пересечение с автодорогой Естественные изгибы (1 шт.) |
| 7 | 1 | 156,02 | Пересечение с автодорогой Естественные изгибы (4 шт.) |
| 8 | 1,2 | 155,28 | Естественные изгибы (5 шт.) |
| 9 | 0,8 | 173,02 | Пересечение с автодорогой Естественные изгибы (1 шт.) |
| 10 | 0,4649 | 173,70 | Пересечение с автодорогой Отсекающая задвижка |

Ранжирование вероятности возникновения аварии по участкам вдоль трассы газопровода показано на рис. 3. Вероятности участков, у которых основные характеристики, как самой трассы, так и окружающей территории, не отличаются от среднего значения. Вероятность возникновения аварии возрастает на участках со сложным рельефом (пересечение трассы с оврагами, ручьями и автомобильными дорогами).

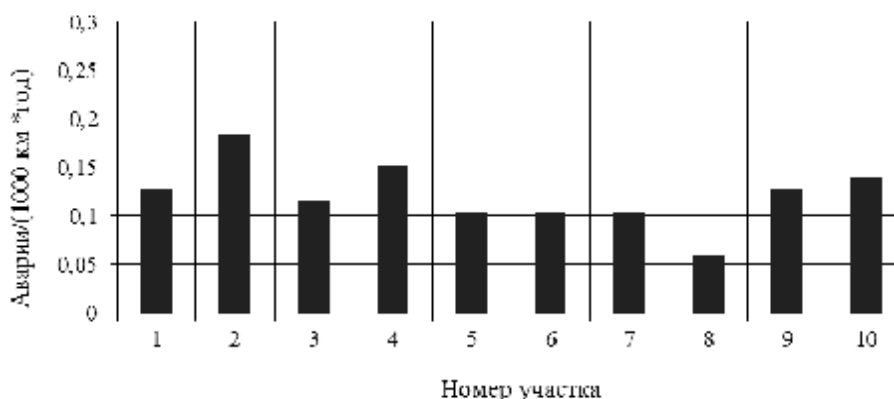


Рис. 3. Вероятность возникновения аварии по участкам вдоль трассы НП

Как видно из рис. 3, наиболее высокая вероятность $\lambda_{\text{ср}} = 0,18$ аварий/(тыс. км год) приходится на участок 2, который пересекает ручей, а на двух соседних есть пересечение с автомобильной дорогой. Проведен расчет истечения газа для 2 участка, который производится в 2 этапа. Расчетная схема отвода представлена на рис. 4.

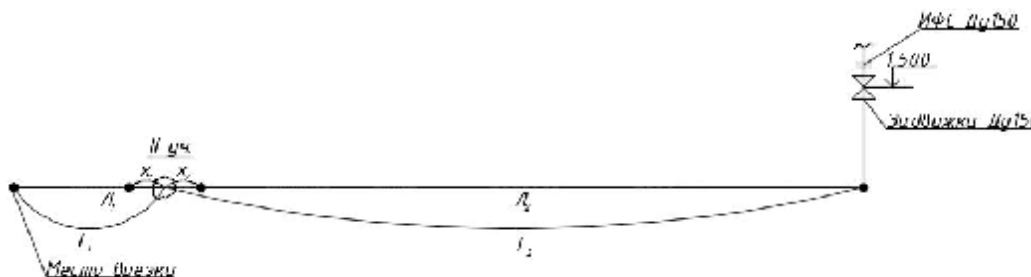


Рис. 4. Схема фрагмента магистрального газопровода

Процесс опорожнения участка 2 отвода рассчитывался согласно «Методическим указаниям по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «ГАЗПРОМ»», СТО Газпром 2-2.3-351-2009. Приняты следующие предположения:

- разрыв газопровода – гильотинный (на полное сечение) и происходит в середине участка 2;
- вмешательство диспетчерской службы происходит в случае уменьшения давления на ГРПШ;
- время принятия решения по перекрытию аварийного участка, после получения информации с приборов контроля, занимает у диспетчерской службы 2 мин;
- после принятия решения (нажатия «красной кнопки») происходит автоматическое перекрытие задвижек на месте врезки и ГРПШ, которое занимает 1,5 мин.

Гидравлическая эффективность газопровода принята на уровне 97 %, что также представляется достаточно консервативной оценкой. Компонентный состав газа принимался (в мольных %) в расчётах следующим: $C_1 - 98,5$; $C_2 - 0,5$; $N_2 - 1,0$.

Плотность транспортируемого природного газа, приведенная к нормальным условиям давление (0,1 МПа, температура 0°C), составляет $0,70225 \text{ кг/м}^3$.

Температура газа на входе в газопровод оценочно принималась $+10^\circ\text{C}$, а температура прилегающего грунта $+5^\circ\text{C}$. Коэффициент теплообмена между газом и грунтом равен $1,2 \text{ ккал/(м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{K)}$.

Расчет количества газа, которое поступит в атмосферу при разгерметизации рассматриваемого участка отвода, представлен на рис. 5.

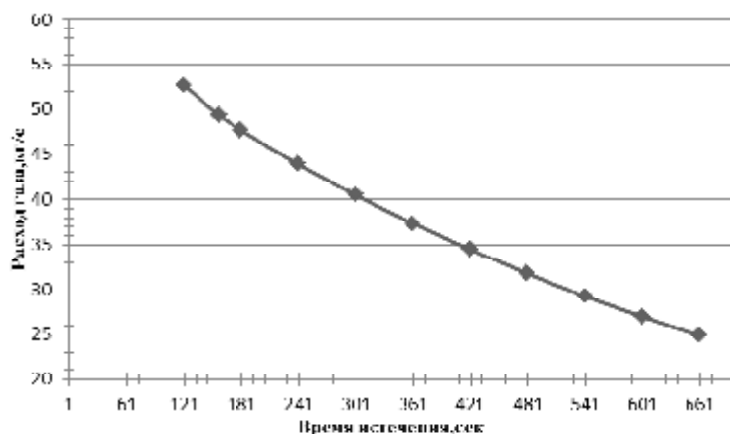


Рис. 5. Суммарная динамика истечения газа из двух концов газопровода

Заключение. Как показали расчеты, в случае разгерметизации отвода (разрыв гильотинный) время полного опорожнения второго участка менее 2 мин, при этом расход газа составит 52,7 кг/с. Время реагирования диспетчерской службы 2 мин и аварийно-восстановительная бригада может приступить к ликвидации аварии.

Список библиографических ссылок

1. Супрунчик В. В. Безопасность трубопроводного транспорта углеводородов. М. : Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. 156 с.
2. Лисанов М. В., Ханин Е. В., Сумской С. И. Безопасность труда в промышленности // Проблемы и суждения. 2012. № 12. С. 54–62.
3. Lei Ma., Liang Cheng., Manchun Li. Quantitative risk analysis of urban natural gas pipeline networks using geographical information systems // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2013. V. 26. P. 1183–1192.
4. Han Z. Y., Weng W. G. An integrated quantitative risk analysis method for natural gas pipeline network // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2010. V. 23. P. 428–436.
5. Yanbao GU., Xiaoli Menga., Tao Menga., Deguo Wanga., Shuhai Liua. A novel method of risk assessment based on cloud inference for natural gas pipelines // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. V. 30. P. 421–429.
6. Chiara Vianello. Scientific thesis: Risk analysis of gas distribution network. University degli Studi di Padova. Italy. 2016. P. 29–40.
7. Тарасенко В. И., Шацкая К. В. Анализ причин аварий в газовом комплексе // Технические науки. 2014. № 24 (1). С. 1–5.
8. Крупные аварии на газопроводах в России в 2007–2012 годах // RIA.RU: ежедн. Интернет-изд. 2012. URL: <https://ria.ru/spravka/20121228/916527963.html> (дата обращения: 28.12.2012).
9. Хухорова Л. А. Оценка риска разгерметизации магистрального газопровода // Вестник ПНИПУ. 2012. № 3. С. 119–122.
10. Медведев В. Н., Докутович А. Б. О совершенствовании принципов прогнозирования аварий на объектах магистральных газопроводов ОАО «Газпром» // Транспорт, хранение и переработка нефти и газа. 2015. № 4. С. 96–103.

Osipova L.E. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: osipovalilija@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Methods for assessing the risk of operation of main gas pipelines

Abstract

Problem statement. The operation of trunk pipeline transport involves substantial risk because depressurization (destruction) of any of the elements of the pipeline leads to the introduction into the environment of transportable products from the destroyed equipment, or interconnected, if it is not disabled at the time of the accident by the shut-off and shut-off valves. Therefore, for the analysis of hazards and assessment of risk of accident during operation of pipelines used a risk-based approach to optimize the necessary organizational and technical measures to prevent accidents and avoid threats more major accidents.

Results. The analysis of accidents on trunk pipeline transport of Russia in accordance with the Federal law of the Russian Federation from 22.07.2208 № 123-FZ (ed. from 03.07.2016) «Technical regulations on fire safety requirements». For existing drainage from the high-pressure gas pipeline to the address: RT, Rybno-slobodskiy district, 878 km of the highway M-7 «Volga» determined the likelihood of an accident. For part of the route where the probability of occurrence of an accident is greatest, the calculated graph for the total dynamics of the gas flow (the gas line rupture – guillotine, on the total cross section), which can be used to determine the time of complete emptying.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to reduce the risk of accidents in the sphere of pipeline transport, which in turn reduces the amount of funds reserved by the company for their liquidation.

Keywords: accident, pipeline depressurization, risk analysis, event tree.

References

1. Suprunchik V. V. Safety of pipeline transport of hydrocarbons. M. : Mineral resources of Russia. Economics and Management. 2007. 156 p.
2. Lisanov M. V., Khanin, E. V., Sumskey S. I. Work Safety in the industry // Problems and opinions. 2012. № 12. P. 54–62.
3. Lei Ma., Liang Cheng., Manchun Li. Quantitative risk analysis of urban natural gas pipeline networks using geographical information systems // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2013. V. 26. P. 1183–1192.
4. Han Z.Y., Weng W.G. An integrated quantitative risk analysis method for natural gas pipeline network // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2010. V. 23. P. 428–436.
5. Yanbao Guo., Xiaoli Menga., Tao Menga., Deguo Wanga., Shuhai Liua. A novel method of risk assessment based on cloud inference for natural gas pipelines // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. V. 30. P. 421–429.
6. Chiara Vianello. Scientific thesis: Risk analysis of gas distribution network. University degli Studi di Padova. Italy. P. 2–40.
7. Tarasenko V. I., Shatskaya V. K. Analysis of causes of accidents in the gas industry // Engineering science. 2014. № 24-1. P. 1–5.
8. Major accidents on gas pipelines in Russia in 2007-2012 // RIA.EN: daily. Internet-edit. 2012. URL: <https://ria.ru/spravka/20121228/916527963.html> (reference date: 28.12.2012).
9. Kuharova L. A. Assessment of the risk of depressurization of the main gas pipeline // Vestnik PNIPU. 2012. № 3. P. 119–122.
10. Medvedev V. N., Dokutovich A. B. On the improvement of the principles of forecasting of accidents at trunk pipelines of JSC «Gazprom» // Transport, storage and processing of oil and gas. 2015. № 4. P. 96–103.

УДК 697

Осипова Л.Э. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: osipovalilija@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Осипов Э.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: eduardvosipov@gmail.com

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

К расчету вытяжной эжекционной системы вентиляции окрасочной камеры

Аннотация

Постановка задачи. При проектировании систем вентиляции окрасочных отделений промышленных зданий особое внимание уделяется вопросам безопасности, так как все лакокрасочные покрытия – коррозионно-активные и легкогорючие вещества. Кроме того, пары растворителей являются взрывоопасными. Так для локальной вентиляции окрасочных камер рационально использовать безопасные эжекционные системы. Они хорошо зарекомендовали себя не только в высотных жилых и административных зданиях, сегодня они находят широкое применение и при вентиляции производственных помещений. Эжектор прост по конструкции, может работать в широком диапазоне изменения параметров состояния воздушных потоков.

Результаты. Проведен расчет и спроектирован эжектор низкого давления для типовой окрасочной камеры. Синтезирована модель эжекционной системы вентиляции с использованием универсального моделирующего пакета ChemCad, который содержит весьма развитую базу данных для решения различных прикладных задач.

Выводы. Полученные результаты могут быть рекомендованы при проектировании системы вентиляции окрасочных камер, как новых, так и подлежащих реконструкции. Использование программного обеспечения позволяет проводить многовариантные расчеты, без которых невозможно решение оптимизационных задач.

Ключевые слова: окрасочная камера, рациональное проектирование, промышленная вентиляция, эжекционная система.

Хорошо известны проблемы с микроклиматом, которые возникают в многоэтажных жилых зданиях, где запроектирована система вентиляции с естественным побуждением [1-4]. Одним из эффективных способов стабилизации работы вытяжной системы вентиляции жилых зданий является использование эжекционных систем. В работах [5-6] приведено описание ряда модульных вытяжных систем вентиляции, где используется метод эжекции, и которые стабильно работают, не зависимо от климатических условий.

В промышленности вентиляция обеспечивает не только нормативные параметры воздушной среды в производственном помещении, но и создает необходимые условия для функционирования технологического оборудования. Если удаляемый воздух содержит взрывоопасные или агрессивные газы, а также твердые взвешенные примеси, то задачи вентиляции усложняются, и для каждого отдельного случая проектируется своя приточно-вытяжная система, учитывающая особенности технологического процесса. В работах [7-8] предложено удалять взрывоопасные и действующие разрушающие на вентилятор примеси методом эжекции.

Эффект эжекции заключается в том, что эжектирующий поток (активный) с более высоким давлением, движется с большой скоростью, увлекает за собой эжектируемый поток (пассивный) низкого давления. На рис. 1 представлена конструкция эжектора. Воздух, нагнетаемый расположенным вне вентилируемого оборудования вентилятором 5 высокого давления, истекает из сопла 1 в смесительную камеру 3, в которую под действием разницы давлений подсасывается воздух из приемной камеры 2, удаляемый из окрасочной камеры. Далее смесь активного и пассивного потоков через диффузор 4 и воздуховод выводятся в атмосферу.

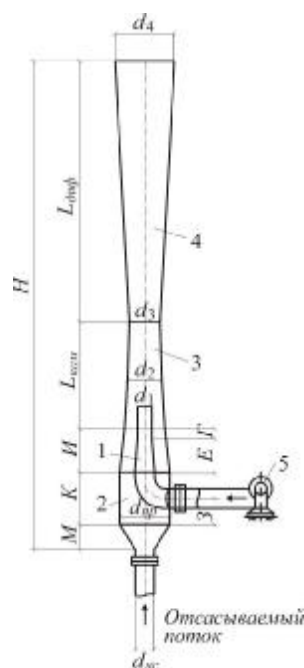


Рис. 1. Схема эжектора: 1 – сопло; 2 – приемная камера; 3 – камера смешения; 4 – диффузор; 5 – вентилятор

В работе Фиалковской Т.А. «Вентиляция при окраске изделий» предлагаются решения по организации рациональной вентиляции окрасочных цехов разнообразных изделий – от мелких деталей до крупногабаритных изделий. Далее все необходимые данные по размеру окрасочной камеры, расходу, температуре и скорости воздушных потоков приняты согласно этим рекомендациям.

Рассмотрим методику определения требуемых характеристик механической приточно-вытяжной вентиляции внутреннего пространства окрасочной камеры размером 5,4×3,4×2,5 м. Приточный воздух подается сверху равномерно по всей площади подшивного потолка. Отсос воздуха осуществляется по центру камеры, пол которой по всей площади оборудован напольными решетками. Приток и вытяжка проходят систему очистки. Минимальная температура – 20-25 °С (в режиме сушки до 50 °С). Движение воздуха в зоне покраски 20-25 см/с. Давление воздуха в камере чуть выше стандартных 100 кПа (атмосферное давление или давление снаружи).

Примем количество приточного воздуха 6600 м³/ч. Для обеспечения подпора требуется удалить 6000 м³/ч воздуха при сопротивлении всасывающей сети $\Delta p_2 = 230$ Па; сопротивление напорной части эжектора $\Delta p_3 = 80$ Па; коэффициент помешивания $w = 1$.

Так как при нанесении лакокрасочных материалов в объем окрасочной камеры поступают легковоспламеняющиеся растворители и их пары, которые взрывоопасны и коррозионноактивны, а лакокрасочные покрытия – легкогорючие вещества, то при проектировании вентиляции камеры предлагается использовать эжекционную вытяжную систему вентиляции. При конструировании оборудования на принципах эжекции необходимо определить оптимальную форму и геометрические размеры эжектора, а также характеристики вентилятора, учитывая, что мощность, потребляемая его электроприводом, определяет существенную долю затрат на проведение процесса окраски.

Основным расчетным параметром эжектора является коэффициент эжекции, под которым понимают отношение расхода активного (нагнетаемого вентилятором) потока к расходу пассивного (подсасываемого из окрасочной камеры) потока. Чем больше коэффициент эжекции, тем меньше расход подаваемого активного потока, и, тем самым, меньше электроэнергии потребляет вентилятор. Сам же коэффициент эжекции является функцией, зависящей от геометрических характеристик эжектора, поэтому нахождение оптимальной геометрии эжектора позволит снизить как эксплуатационные, так и капитальные затраты на установку системы вентиляции.

При моделировании эжектор разделяем на три части: сопло, камера смешения и диффузор.

Давление и температура на срезе сопла определяется по соотношениям (1) и (2):

$$\frac{P_1}{P_2} = \left[1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}, \quad (1)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2. \quad (2)$$

Основное соотношение, использованное при моделировании эжектора:

$$\frac{A_2}{A_c} = \sqrt{\frac{\left[\left(\frac{2}{1+\gamma_1} \right) \left(1 + \frac{\gamma_1-1}{2} M_2^2 \right) \right]^{\frac{\gamma_1+1}{\gamma_1-1}}}{M_2^2}}. \quad (3)$$

Давление на выходе из сопла рассчитывается следующим образом:

$$P_2 = \frac{P_1}{\left[\frac{\gamma_1-1}{2\eta_c} M_2^2 + 1 \right]^{\frac{\gamma_1}{\gamma_1-1}}}. \quad (4)$$

Температуры в выходе из сопла:

$$T_2 = \frac{T_1}{1 + \frac{\gamma_1-1}{2\eta_c} M_2^2}. \quad (5)$$

Скорость звука:

$$C_2 = \sqrt{\gamma_1 R_1 T_2}, \quad (6)$$

Фактическая скорость потока:

$$V_2 = C_2 M_2. \quad (7)$$

Число Маха до смешения активного и эжектируемого потоков в сопле выражено формулой:

$$M_{v_2} = \sqrt{\frac{2}{\gamma_2-1} \left[\left(\frac{P_v}{P_2} \right)^{\frac{\gamma_2-1}{\gamma_2}} - 1 \right]}. \quad (8)$$

В общем случае, для получения критического числа Маха в любом сечении i , можно использовать следующее соотношение:

$$M_i^* = \sqrt{\frac{M_i^2 (\gamma+1)}{M_i^2 (\gamma-1) + 2}}. \quad (9)$$

Если учитывать уравнение (9), то критическое число Маха на срезе сопла рассчитывается по формуле:

$$M_2^* = \sqrt{\frac{M_2^2 (\gamma_2+1)}{M_2^2 (\gamma_2-1) + 2}}. \quad (10)$$

По определению, соотношение для коэффициента эжекции вычисляется по формуле:

$$w = \frac{m_v}{m_1}. \quad (11)$$

Критическое число Маха движущегося потока на выходе из сопла до смешения с эжектируемым потоком:

$$M_{v_2}^* = \sqrt{\frac{M_{v_2}^2 (\gamma_1+1)}{M_{v_2}^2 (\gamma_1-1) + 2}}. \quad (12)$$

При моделировании процесса смешения одномерные уравнения неразрывности в сочетании с уравнениями движения и уравнениями энергии могут быть объединены в следующие соотношения для расчета критического числа Маха и числа Маха в диффузоре:

$$M_4^* = \frac{M_2^* + w M_{v_2}^* \sqrt{\frac{T_v}{T_1}}}{\sqrt{(1+w) \left(1 + w \frac{T_v}{T_1} \right)}}, \quad (13)$$

$$M_4 = \frac{\sqrt{2} M_4^*}{\sqrt{(\gamma_3+1) - M_4^{*2} (\gamma_3-1)}}. \quad (14)$$

Для расчета смешанного активного и эжектируемого потока перед выхлопом используется следующее соотношение:

$$T_4 = \frac{T_2}{1 + \frac{\gamma_3-1}{2} M_4^2}. \quad (15)$$

Число Маха на входе и выходе из диффузора:

$$M_5 = \sqrt{\frac{M_4^2 + \frac{2}{\gamma_3 - 1}}{\frac{2\gamma_3}{\gamma_3 - 1} M_4^2 - 1}}, \quad (16)$$

$$M_3 = \sqrt{\frac{M_5^2 + \frac{2}{\gamma_3 - 1}}{\frac{2\gamma_3}{\gamma_3 - 1} M_5^2 - 1}}. \quad (17)$$

Нужно отметить, что для расчета температуры и давления на входе в диффузор используются следующие соотношения:

$$T_3 = \frac{T_2}{1 + \frac{\gamma_3 - 1}{2} M_3^2}, \quad (18)$$

$$P_3 = \frac{P_2}{\left(1 + \frac{\gamma_3 - 1}{2} M_3^2\right)^{\frac{\gamma_3}{\gamma_3 - 1}}}. \quad (19)$$

Скорость звука и фактическая скорость определяют по следующим зависимостям:

$$C_3 = \sqrt{\gamma_3 R_3 T_3}, \quad (20)$$

$$C_4 = \sqrt{\gamma_3 R_3 T_4}, \quad (21)$$

$$V_3 = C_3 M_3, \quad (22)$$

$$V_4 = C_4 M_4. \quad (23)$$

Температура и давление на выходе из диффузора рассчитываются следующим образом:

$$T_5 = \frac{1 + \frac{\gamma_3 - 1}{2} M_4^2}{1 + \frac{\gamma_3 - 1}{2} M_5^2}, \quad (24)$$

$$P_5 = \frac{1 + \gamma_3 M_4^2}{1 + \gamma_3 M_5^2} P_4. \quad (25)$$

Для того, чтобы определить выходное давление из эжектора, могут использоваться следующие соотношения:

$$\frac{A_1}{A_d} = \frac{P_6}{P_1} \left(\frac{1}{(1+w)(1+w\frac{T_2}{T_1})} \right)^{1/2} \cdot \frac{\left(\frac{P_2}{P_6}\right)^{\frac{1}{\gamma_1}} \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_6}\right)^{\frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_3}}\right)^{1/2}}{\left(\frac{2}{\gamma_1 + 1}\right)^{\frac{1}{\gamma_3 - 1}} \left(1 - \frac{2}{\gamma_3 + 1}\right)^{1/2}}, \quad (26)$$

$$P_6 = P_5 \left(\eta_d \frac{\gamma_3 - 1}{2} M_5^2 + 1 \right)^{\frac{\gamma_3}{\gamma_3 - 1}}. \quad (27)$$

Таким образом, выходной поток из эжектора:

$$m_6 = m_l + m_v. \quad (28)$$

Уравнения (1)-(28) позволяют выполнить расчет эжектора на заданную производительность. Задачи подобного рода эффективно решаются при использовании различных моделирующих прикладных программ. В частности, применение универсальной моделирующей программы (УМП) ChemCad позволяет рассчитать теплофизические свойства воздушных потоков с летучими компонентами различных лакокрасочных материалов. В [9-11] рассмотрены примеры решения прикладных задач с помощью УМП ChemCad.

Уравнения (1)-(28) были записаны в алгоритм расчета эжектора для различных режимов работы (с использованием инструментария Data Map). Блок-схема расчета эжектора представлена на рис. 2.

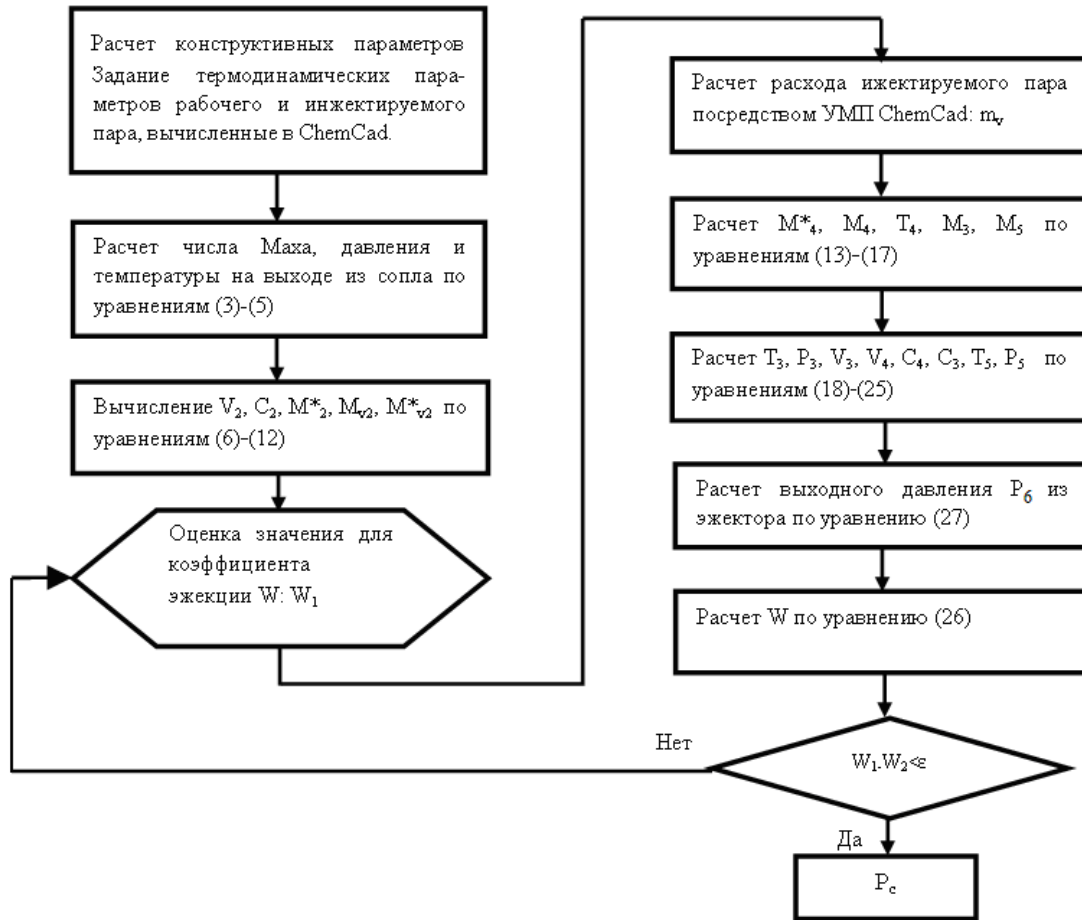


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета эжектора по уравнениям (1)-(28)

На рис. 3 представлена расчетная схема эжектора в УМП ChemCad. Квадратные контуры обозначают следующие потоки: 1 – пассивный поток (ПП); 2 – газ на всасывающем патрубке эжектора; 3 – смесь АП и ПП; 4 – газ на выходе из эжектора; 5, 6 – активный поток (АП). Круглыми контурами обозначены модули расчетной схемы, имитирующие эжектор и вентилятор, где модуль 3 (Mixer) – смеситель, который смешивает входные потоки при заданном давлении на выходе; модуль 1 (Pump) – вентилятор; модуль 2 (Valve) – моделирует падение давления на всасывающей линии; модуль 4 (Valve) – моделирует повышение давления в выходном конусе эжектора.

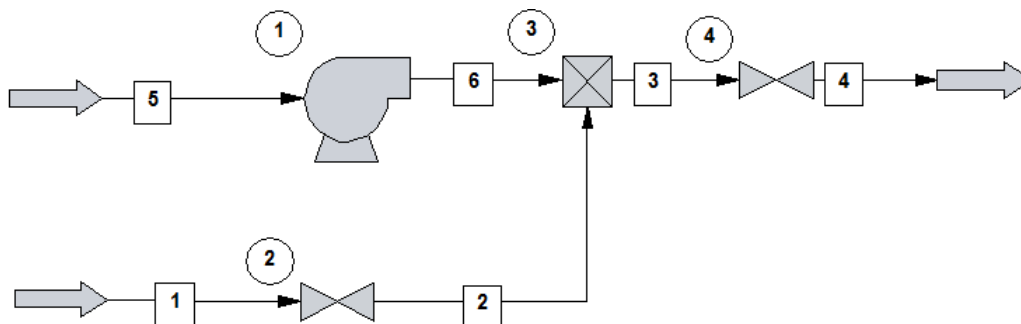


Рис. 3. Расчетная схема эжектора в УМП ChemCad

В таблице приведены рассчитанные геометрические размеры и параметры эжектора на производительность $6000 \text{ м}^3/\text{с}$, который может быть рекомендован для вентиляции окрасочной камеры размером $5,4 \times 3,4 \times 2,5 \text{ м}$.

Таблица

Параметры эжектора

| Параметр эжектора | Геометрический размер, мм |
|---|---------------------------|
| Диаметр выходного сечения сопла, d_1 | 211 |
| Диаметр начала смесительной камеры, d_2 | 470 |
| Диаметр горловины эжектора, d_3 | 376 |
| Диаметр устья диффузора, d_4 | 800 |
| Диаметр всасывания, $d_{вс}$ | 560 |
| Диаметр напорного трубопровода, d_n | 500 |
| Длина смесительной камеры, $L_{кам}$ | 1320 |
| Длина диффузора, $L_{диф}$ | 4240 |
| Высота цилиндрической части сопла, Г | 106 |
| Высота конфузора сопла, Е | 422 |
| Расстояние от центра напорного воздуховода до низа приемной камеры, З | 500 |
| Высота приемной камеры, К | 1000 |
| Диаметр приемной камеры, $d_{пр}$ | 1000 |
| Длина диффузора приемной камеры, М | 560 |
| Длина конфузора приемной камеры, И | 528 |

К эжектору предлагается установить вентилятор марки ВЦ5-35-8В1.01, электродвигатель АИМ132М4 и потребляемой мощностью 11 кВт. Частота вращения 1500 об/мин, развиваемое полное давление 2900-2060 Па.

Заключение. Поскольку все лакокрасочные покрытия – легкогорючие вещества, то при проектировании вентиляции окрасочных камер (как новых, так и подлежащих реконструкции) желательно использовать эжекционную вытяжную систему вентиляции. Используя инструментарий Data Map (встраиваемая функция), который связывает тело универсальной моделирующей программы УМП ChemCad с пользовательским файлом, можно интегрировать теплофизические свойства потоков в формулы (1)-(28), тем самым автоматизировав процесс расчета.

Полученные результаты могут быть рекомендованы к расчету при проектировании системы вентиляции окрасочных камер методом эжекции.

Список обозначений

P – давление, кПа;

T – температура, °К;

A – площадь сечения, м²;

γ – показатель адиабаты;

C – скорость звука, м/с;

V – фактическая скорость, м/с;

M – критерий Маха;

R – универсальная газовая постоянная, кДж/(кг °К);

w – коэффициент эжекции;

η – КПД;

m – массовый расход, кг/с.

Индексы

v – параметры пассивного потока;

1 – параметры активного потока;

2 – параметры на срезе сопла;

3 – параметры смешанного потока;

4 – параметры перед входом в диффузор;

5 – параметры на выходе из диффузора;

6 – параметры на выходе из эжектора;

c – параметры, относящиеся к соплу;

d – параметры, относящиеся к диффузору; * – критические параметры.

Список библиографических ссылок

1. Кирнова М. А., Сотникова О. А. Условия работы естественной вытяжной вентиляции в многоэтажных жилых домах // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2013. № 4 (32). С. 34–40.
2. Naoto Shinomiya., Satoru Takada., Tomoaki Ushio. Study on ventilation in high-rise building based on pressure differences measured at elevator doors // Energy Procedia. 2015. V. 78. P. 2712–2716.
3. Wahyu Sujatmiko, Hermawan K., Dipojono F. X., Nugroho Soelami, Soegijanto. Natural ventilation and temperature conditions in some high-rise building flats in Bandung and Jakarta in perspective of adaptive thermal comfort // Procedia Environmental Sciences. 2015. V. 28. P. 360–369.
4. Ali Shafiei Fini, Ali Moosavi. Effects of «wall angularity of atrium» on «buildings natural ventilation and thermal performance» and CFD model // Energy and Buildings. 2016. V. 121. P. 265–283.
5. Шонина Н. А. Вентиляция для многоэтажных жилых зданий // АВОК. 2013. № 6. С. 22–38.
6. Модульная вытяжная система вентиляции высотных и промышленных зданий : пат. 113818 Рос. Федерация. № 2011142710/12 ; заявл. 21.10.2011 ; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 6. 14 с.
7. Осипов Э. В., Осипова Л. Э. Расчет эжекционной системы аспирации воздуха с помощью универсальной моделирующей программы CHEM CAD // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 9 (17). С. 221–223.
8. Современная техника и технологии // TECHNOLOGY.SNAUKA.RU. 2012. № 5. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/05/832> (дата обращения: 02.01.2017).
9. Осипов Э. В., Теляков Э. Ш., Поникаров С. И. Системное моделирование установок вакуумной ректификации // Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 28. № 20. С. 81–88.
10. Осипов Э. В., Теляков Э. Ш., Шоипов Х. С. Технологическое обследование вакуумной ректификационной колонны разделения мазута К-3 ТПП «Когалымнефтегаз» (ОАО «Лукойл – Западная Сибирь») // Вестник Казанского технологического университета. № 21. Федер. агенство по образованию, Казан. гос. технол. ун-т. Казань : КГТУ, 2013. С. 283–286.
11. Сайрутдинов Ф. М., Теляков Э. Ш., Садыков К. С. Влияние наличия в откачиваемых смесях легких углеводородов на производительность жидкостно-кольцевого вакуумного насоса (ЖКВН) // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 13. С. 158–163.

Osipova L.E. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: osipovalilija@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Osipov E.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: eduardvosipov@gmail.com

Kazan National Research Technological University

The organization address: 420015, Russia, Kazan, Karl Marx st., 68

To the calculation of the exhaust ejection ventilation system of a paint booth**Abstract**

Problem statement At design of systems of ventilation of painting offices of industrial buildings special attention is paid to safety issues as all paint and varnish coverings – corrosion and active and easily combustible substances. In addition, solvent vapors are explosive. So for local cooling of painting cameras rationally to use safe ejector systems. They have well proved not only in high-rise residential and office buildings, today they find broad application and at ventilation of production rooms. The ejector is simple on a design, can work in the wide range of change of parameters of a condition of air streams.

Results. Calculation is carried out and the ejector of low pressure for the standard painting camera is designed. The model of ejector system of cooling with use of the universal simulating packet of ChemCad which contains very developed database for the decision of different application-oriented tasks is synthesized.

Conclusions. The obtained results can be recommended in the design of the ventilation system of paint booths both new and reconstructed. Using the software allows to carry out multiple calculations, which are indispensable for the solution of optimization problems.

Keywords: paint booth, sustainable design, industrial ventilation, ejection system.

References

1. Kirnova M. A., Sotnikova O. A. Working conditions of natural exhaust ventilation in high-rise buildings // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitelstvo i arhitektura. 2013. № 4 (32). P. 34–40.
2. Naoto Shinomiya., Satoru Takada., Tomoaki Ushio. Study on ventilation in high-rise building based on pressure differences measured at elevator doors // Energy Procedia. 2015. V. 78. P. 2712–2716.
3. Wahyu Sujatmiko, Hermawan K., Dipojono F. X., Nugroho Soelami, Soegijanto. Natural ventilation and temperature conditions in some high-rise building flats in Bandung and Jakarta in perspective of adaptive thermal comfort // Procedia Environmental Sciences. 2015. V. 28. P. 360–369.
4. Ali Shafiei Fini, Ali Moosavi. Effects of «wall angularity of atrium» on «buildings natural ventilation and thermal performance» and CFD model // Energy and Buildings. 2016. V. 121. P. 265–283.
5. Shonina N. A. Ventilation for high-rise residential buildings // AVOK. 2013. № 6. P. 22–38.
6. Modular exhaust ventilation system of high-rise and industrial buildings: patent 113818 of the Rus. Federation. № 2011142710/12 ; decl. 21.10.2011; publ. 27.02.2012. Bull. In № 6. 14 p.
7. Osipov E. V., Osipova L. E. Calculation of the ejection system of air aspiration using the universal modeling program CHEM CAD // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. № 9 (17). P. 221–223.
8. Modern equipment and technology // TECHNOLOGY.SNAUKA.RU. 2012. № 5. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/05/832> (reference date: 02.01.2017).
9. Osipov E. V., Telyakov E. Sh., Ponikarov S. I. System modeling of vacuum rectification installations // Butlerovskie soobshcheniya. 2011. T. 28. № 20. P. 81–88.
10. Osipov E. V., Telyakov E. Sh., Shoipov Kh. S. Technological inspection of the vacuum rectification tower for separation of fuel oil K-Z TPP «Kogalymneftegaz» (JSC LUKOIL – West Siberia) // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. № 21. Feder. agentstvo po obrazovaniyu, Kazan. gos. tekhnol. un-t. Kazan: KGTU, 2013. P. 283–286.
11. Sayrutdinov F. M., Telyakov E. Sh., Sadykov K. S. The impact of the presence in the pumped mixtures of light hydrocarbons on the performance of liquid ring vacuum pump (LRVP) // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. № 13. P. 158–163.

УДК 621.3

Хабибуллин Ю.Х. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: a0an@mail.ru

Барышева О.Б. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: obbars@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Развитие альтернативной комплексной диспетчеризации энергонасыщенных зданий

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить недостатки в действующих, в настоящее время, системах индивидуального учета и диспетчеризации энергоресурсов на объектах жилищно-коммунального хозяйства, и создать оптимизированную систему мониторинга и контроля эксплуатационных качеств энергонасыщенных зданий и объектов ЖКХ, с использованием современных средств, и программного обеспечения.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в создании альтернативной системы комплексной диспетчеризации энергонасыщенных объектов ЖКХ, которая позволяет сократить финансовые расходы, благодаря мониторингу и контролю в процессе эксплуатации зданий.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в повышении эффективности системы мониторинга и эксплуатационных качеств. Это ведет к повышению общей надежности функционирования инженерных систем на предприятиях коммунального хозяйства.

Ключевые слова: унифицированные модули, автоматизированная система, энергоресурсы, тепло, мониторинг.

В зданиях с хорошо развитой инфраструктурой действуют сложные и дорогие инженерно-технические комплексы. Необходимым условием эффективного использования и функционирования средств, которые обеспечивают жизнедеятельность инфраструктуры здания, является управление и контроль инженерным оборудованием. Но даже современные системы диспетчеризации зданий не обеспечивают контролирование за оборудованием в полном объеме.

Рассмотрена интеллектуальная система индивидуального учета энергоресурсов в зданиях и сооружениях. Технической основой системы индивидуального учета и диспетчеризации энергетических ресурсов в объектах ЖКХ является оборудование для учета потребления энергоносителей, включающего первичные датчики потребления электроэнергии, природного газа, холодной и горячей воды и т.д., исполнительные устройства, которые обеспечивают передачу данных через интернет на сервер центра обработки информации, причем оборудования первичного учета и устройства передачи данных, объединены в общую локальную проводную сеть с использованием сервера, которые функционируют с консольным приложением и дают возможность сбора и хранения первичной информации, настройки и управления оборудованием учета расхода энергоносителей и двухстороннего обмена информацией с сервером центра обработки данных.

Эта система основана на унифицированных модулях с единой элементной базой.

Согласно «Энергетической стратегии России за период до 2020 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ № 1234-р от 28.03.2003 г. экономия энергетических ресурсов – это одно из важнейших направлений в стратегии России [1, 2]. Устойчивое развитие страны невозможно без детальной проработки отдельных аспектов энергетической политики. Основным фактором нерациональных затрат являются потери энергии при транспортировке ее от поставщика к потребителю, что неизбежно вызывает качественно новые требования к измерению, учету, контролю и управлению энергетическими ресурсами.

Повышение энергоэффективности теплоснабжения потребителей является максимально возможным приближением источника тепла к потребителю с целью уменьшения потерь тепла при транспортировке путем устройства следующих объектов:

- пристроенных, встроенных и крышных автоматизированных котельных;
- организацией системы диспетчеризации, управления и учета производства и потребления тепловой энергии.

Используя современные технологии, человечество переведет систему теплоснабжения на качественно новый уровень интеллектуальных систем, но это в будущем.

На данный момент потери тепловой энергии при транспортировке велики иногда доходят до 40-60 %, что естественно бьет по карману физических лиц, прежде всего.

На рис. 1 показано как на локальном участке производства происходят потери тепловой энергии при нормальной работе.

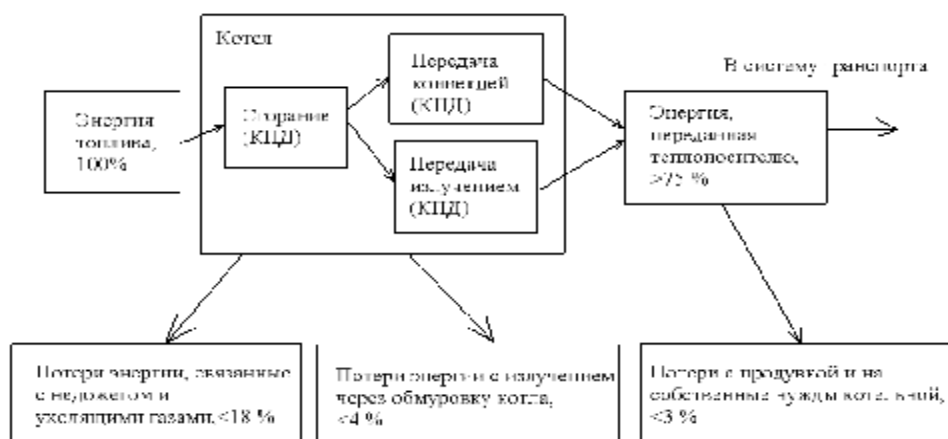


Рис. 1. Потери тепловой энергии на локальном участке производстве

Авторами проведен анализ потерь тепловой энергии, который представлен на рис. 2.

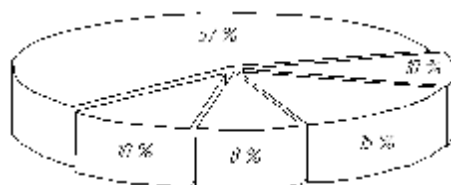


Рис. 2. Классификация потерь тепловой энергии: 57 % – полезно используемое тепло; 10 % – потери тепла при потреблении; 8 % – потери тепла на регулирование; 15 % – потери тепла при транспортировке; 10 % – потери тепла на источнике

Из рис. 2 видно, что полезно используемое тепло занимает всего 57 %, средние потери при транспортировке – 15 %, и далее, практически в равной пропорции находятся потери энергии при потреблении, потери на источники по 10 % и чуть меньше потери на регулирование – 8 %. В процессе регулирования также происходит потеря тепла, т.к. этот процесс зависит от используемого оборудования и его срока службы. Бывает, когда старое оборудование просто срывает и происходит аварийная ситуация, в результате которой происходит утечка тепла.

В конце 2010 года была утверждена Государственная программа РФ № 2446-р от 27.12.2010 г. «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».

Программа разрабатывалась для повышения финансовой устойчивости, конкурентоспособности, экологической и энергетической безопасности российских предприятий.

Она также предусматривает снижение энергопотребления, повышения энергетической эффективности за счет модернизации, технологического развития и рационального использования энергетических ресурсов.

Благодаря этой программе можно добиться снижения энергоемкости валового внутреннего продукта на 40 % к 2020 году [3, 4].

Общепринятые до недавнего времени заключения подразумевают автоматизацию только местных инженерных систем объекта, а, не рассматривая автоматизацию объекта в целом. Крупные объекты состоят из множества локальных инженерных систем, которые решают задачи по обеспечению жизнедеятельности объекта, а также технологические процессы в подразделениях, находящихся на объекте. Численность таких систем увеличивается из года в год. Проверка состояния и совершенствование этих систем выполняется экстенсивно, способ наблюдения системы производится специфическим оборудованием для каждой из них. В качестве связи инженерной единицы с постом используется кабельная проводка. Многие системы вовсе не имеют средств мониторинга и централизованного контроля, измерения и управления. Каждая из этих подсистем мониторинга выполняет ограниченные местные задачи автоматизации и диспетчеризации соответствующей инженерной системы. Анализируя системы, которые действуют на сегодняшний день можно понять, что такие решения имеют нижеперечисленные недостатки: недостаток данных у служб эксплуатации; недостаток данных у эксплуатационных служб; отсутствие связи у различных инженерных единиц в системе мониторинга; уменьшение общих показателей надежности процесса; использование технических средств, сильно изживших себя; недоступность запасного оборудования серийного производства; большие затраты на эксплуатацию; продолжительное время реакции на неисправность оборудования, также на восстановление ее работоспособности; не принятие мер по увеличению долговечности системы; невозможность автоматического управления; отсутствие дистанционной передачи данных в эксплуатационные службы здания, и как следствие ограниченные возможности диспетчерской связи.

Дорогие и сложные инженерно-технические комплексы работают в основном в энергоемких зданиях с развитой инфраструктурой. Важным условием эффективного использования и функционирования объектов, обеспечивающих жизнедеятельность строительной инфраструктуры, является контроль и управление инженерным оборудованием. Существующие системы диспетчеризации зданий не обеспечивают контроль оборудования в необходимом количестве и базируются, как правило, на элементной базе с низкой надежностью, что не дает анализа состояния оборудования и прогнозирования отказов.

Массовое использование приборов учета, безусловно, является необходимым, но недостаточным условием достоверности расходования энергоресурсов. Монтаж приборов учета рассредоточенных территориально не допускает осуществление мониторинга текущих показаний и ограничивается центром обработки информации. Число пользователей центра обработки данных ограничено. Пользователями являются службы жилищно-коммунального хозяйства и индивидуальные потребители [5, 6].

Поэтому весьма актуальной становится задача создания системы, которая бы сделала возможным объединение локальных узлов учета в единый измерительно-информационный комплекс для единовременного, непрерывного автоматизированного контроля над технологическими процессами получения, транспортировки и потребления энергоресурсов, а также для коммерческих отношений между производителями и потребителями ресурсов.

Система комплексного учета энергоресурсов включает в себя не только систему учета электропотребления, но и учет расхода холодной воды и газа, а также расхода горячей воды в сетях отопления и горячего водоснабжения.

Такие системы удобно рассматривать в виде модели трехуровневой модели [7, 8]:

1. уровень датчиков;
2. уровень передачи данных;
3. уровень серверов.

В этой модели основная информация передается с первого на третий уровень.

На первом уровне расположены локальные узлы учета, которые выполняют первичную обработку данных (потребление электроэнергии, природного газа, холодной и горячей воды и т.д.).

Второй уровень определяет канал формата информационных обменов, способ передачи информации от приборов учета.

На третьем уровне производится хранение, обработка и анализ данных, полученных с помощью приборов учета. С этого уровня пользователи могут получать информацию о потреблении энергетических ресурсов, как отдельными объектами, так и всей рассматриваемой инфраструктурой.

Введение системы комплексного учета энергоресурсов имеет много достоинств по сравнению с использованием отдельных систем для каждого видов ресурсов. Прежде всего, это более экономный вариант за счет применения единой инфраструктуры сбора данных от приборов учета различных конкретных энергоносителей.

Кроме того, комплексная система имеет следующие эксплуатационные преимущества, представленные в табл.

Таблица

Эксплуатационные преимущества комплексной системы

| Преимущества | Описание |
|-------------------------|--|
| Актуальность | Комплексная система позволяет контролировать потребление энергоресурсов в режиме on-line. Также обеспечивается накопление информации за предыдущие периоды для последующего изучения и анализа. Для последующего изучения и анализа можно использовать данные за предыдущие периоды. |
| Высокая информативность | Система комплексного учета энергоресурсов обеспечивает возможность получения данных о потреблении как отдельных компонентов, так и целой группы абонентов. Ко всему прочему обеспечивается возможность контроля показаний счетчиков энергетических ресурсов различного вида (электроэнергии, отопления, холодной и горячей воды, газа и т.д.). |
| Автоматизация | Полная автоматизация процесса сбора информации, что очень важно для групп абонентов со сложной структурой и огромным количеством приборов учета потребления энергетических ресурсов. |
| Точность | Высокая точность и достоверность получаемых данных о потреблении. |

Исходя из этих преимуществ, комплексный учет энергоресурсов является более удобным в эксплуатации.

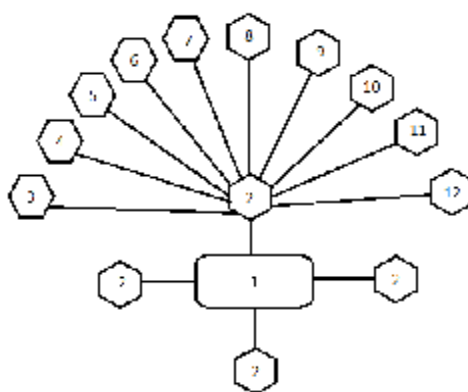


Рис. 3. Структурная схема комплексной системы по снижению энергопотребления:

1 – центральный диспетчерский пункт; 2 – локальные диспетчерские пункты; 3 – средства управления и контроля; 4 – оборудование электроснабжения, со средством контроля оборудования канализации, водоснабжения и теплоснабжения; 5 – средства контроля элементов пожарной безопасности; 6 – средства связи и вещания; 7 – информационно-справочная служба; 8 – средства контроля и управления; 9 – система кабельных магистралей, средства контроля и управления систем технической безопасности; 10 – средства управления и контроля лифтами; 11 – средства управления и контроля системой вентиляции; 12 – средства контроля состояния целостности зданий и сооружений

Система позволяет также организовывать реально результативный контроль энергопотребления. Это помогает обнаруживать слабые места и находить новые возможности для экономии энергетических ресурсов.

Известна комплексная система инженерного обеспечения, автоматизированного управления и электропитания [9]. На рис. 3 показана структура этой системы.

Известна также система учета, контроля и управления энергетическими ресурсами в ЖКХ [10].

Система включает в себя:

- первичные измерительные преобразователи расхода электроэнергии, газа, тепловой энергии и воды, которые снабжены устройствами отображения информации в виде ЖК индикатора;

- модулей контроля температуры;

- охранно-пожарной сигнализации измерения относительной влажности;

- первичных преобразователей сигналов от этих устройств.

Данная система снабжена:

- микропроцессорным счетчиком-вычислителем;

- ЖК-индикатором;

- счетчиком-вычислителем;

- устройством сбора, передачи и хранения информации;

- ЦОИ – это центром обработки информации;

- ЛВС – это локальной вычислительной сетью;

- ПО – это программным обеспечением;

- модулями принудительного отключения подачи энергоносителя;

- центр обработки информации связан с охраной, аварийно-ремонтными подразделениями и т.д.;

- радиосвязью.

Данная система имеет ограниченные функциональные возможности, которая выражается только в ограничении энергопотребления за счет дистанционной остановки при превышении лимита энергопотребления и возможности точечного отключения при возникновении аварийных ситуаций.

Авторы предлагают систему мониторинга и контроля потребления ресурсов, которая состоит из: объекта с оборудованием для первичного учета потребления энергии, устройства для передачи данных об используемых ресурсах на сервер центра обработки данных через интернет и устройств для передачи информации из первичного оборудования для контроля и учета объектов объединяется в общую для всех типов ресурсов локальную проводную сеть с использованием сервера, работающего с консольным приложением, и возможность сбора и хранения первичной информации, настройки и управление оборудованием учета потребления энергии и двустороннего обмена данными с сервером центра обработки информации и графическими интерфейсами для просмотра информации об энергопотреблении на объектах системы в реальном времени отдельными потребителями и пользователями центра обработки информации. Эта система основана на унифицированных модулях с единой электронной базой данных.

Конфигурация такой системы учета и контроля данных может быть изменена и расширена за счет включения в нее новых модулей и замены некоторых элементов другими без остановки всей системы.

Система включает диспетчерский комплекс аппаратно-программного обеспечения, состоящий из набора аппаратного и программного обеспечения, которые совместно работают для мониторинга и мониторинга потребления энергоресурсов, например, в виде тепла, электричества, горячей и холодной воды и природного газа. Аппаратное обеспечение включает в себя оборудование для измерения расхода, по меньшей мере один из энергоносителей.

Оборудование для учета потребления энергоносителей включает первичный датчик энергоносителя, устройства сбора и передачи данных по встроенным устройствам сбора и передачи данных. Данные с подключенного устройства через локальную сеть передаются на усилитель, а затем на сервер центра обработки информации, где

пользователи (администратор, диспетчер, потребитель и т.д.) могут запросить соответствующую информацию.

Построение системы комплексного учёта энергоресурсов должно обязательно сопровождаться мероприятиями, связанными с обеспечением информационной безопасности передаваемых и обрабатываемых данных. Под информационной безопасностью понимается защищенность информации от следующих факторов [10]:

- преднамеренных воздействий, которые нарушают целостность сообщений с целью несанкционированного перехвата и ознакомления с информацией, а также навязывания потребителю фальшивых сообщений;

- случайных воздействий, в результате которых возможны сбои в работе аппаратуры, помехи в камерах связи и т.д.;

Определение, анализ и классификация допустимых угроз является одним из важнейших факторов обеспечения информационной безопасности системы комплексного учета энергоресурсов. Основой для проведения анализа риска и выражения требований к системе защиты является полный список всех угроз и оценка вероятности их реализации.

Изучая информационные потоки в системе комплексного учета энергоресурсов, можно выделить участки, наиболее слабые с точки зрения информационной безопасности.

Проведем анализ следующих участков передачи информации:

1. от первичного датчика до прибора учёта;
2. от прибора учёта до микропроцессорного счетчика-вычислителя;
3. от счётчика-вычислителя до устройства сбора, хранения и передачи данных;
4. от устройства сбора, хранения и передачи данных до сервера центра обработки информации;

5. сервера до внешних пользователей системы.

Участок 1. Здесь возможные угрозы, связанные со следующими негативными моментами:

- искажение информации, поступающей с первичного датчика до прибора учета (неверная установка, нарушение изоляции проводников и даже их обрыв);

- разукomплектование или хищение датчиков и приборов учёта с целью получения материальной выгоды;

- искажение настроек приборов учёта.

Вариантом решения проблем является ограничение доступа в конкретное помещение, установка ограждений в местах установки приборов учета.

Известно [10], что примерно 80 % угроз для любой информируемой системы исходят от действующих или бывших сотрудников данной организации. Поэтому необходимо обязательно опечатывать приборы учёта и блокировать их служебные функции для предотвращения доступа к системным настройкам.

Участок 2. Поскольку счётчик-вычислитель предполагается устанавливать в непосредственной близости от приборов учёта, то все негативные моменты, характерные для первого участка, должны быть перенесены на участок 2.

При подключении квартирных приборов учёта счётчик-вычислитель устанавливается в распределительном щитке. И хотя несанкционированный доступ к счетчику-вычислителю приведёт к включению аварийного сигнала на персональном компьютере диспетчера, не исключена возможность искажения сигнала злоумышленником. Поэтому необходимо предусмотреть контрольные сверки показаний приборов учёта с информацией в системе комплексного учёта энергоресурсов с интервалом не менее 1 раза в год, а в случае включения аварийного сигнала – непосредственно по каждому случаю.

Участок 3. С точки зрения информационной безопасности весьма уязвим вследствие своей протяжённости. Искажение информации можно предотвратить, применяя при передаче контрольные цифры, а конфиденциальность – путём шифрования данных.

Безопасность информации, передаваемой на участке 4, может быть обеспечена использованием стандартных средств. Например, возможно программно реализовать в приложениях поддержку протокола SSL или применить другие программно-аппаратные средства защиты информации при передаче ее по открытым компьютерным сетям. Персональный компьютер диспетчера также должен соответствовать хорошему уровню

безопасности. Кроме того, нежелательно объединять персональные компьютеры объединённой диспетчерской службы на основе открытых сетей общего пользования (локальные городские сети доступа в интернет) вследствие невысокой надёжности этих сетей и повышенной вирусной активности.

Участок 5 по стенке уязвимости аналогичен участку 4, с учётом того, что обмен информацией происходит по открытым каналам связи (с использованием интернета), что устанавливает высокие требования к идентификации, аутентификации удалённых пользователей. Естественно, следует максимально ограничить список доступных им функций по управлению системой. Также для обеспечения необходимого уровня информационной безопасности возможно применение виртуальных частных сетей.

В итоге, авторы выявили недостатки в действующих в настоящее время системах индивидуального учета и диспетчеризации энергоресурсов на объектах ЖКХ и создали альтернативную систему мониторинга и эксплуатационных качеств энергонасыщенных зданий жилищно-коммунального хозяйства.

На рис. 4 видно, что в реальном времени с каждым годом растут потери энергии при транспортировке энергии. Это связано с изнашиванием, например, трубопроводов. Во втором же случае, наоборот, с каждым годом идет уменьшение потерь энергии, т.к. системы контроля и мониторинга совершенствуются.

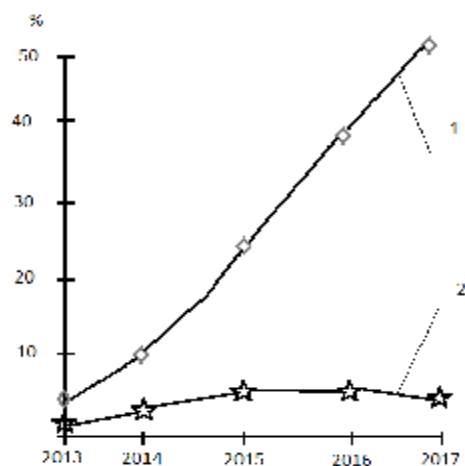


Рис. 4. Зависимости потерь энергии при транспортировке в реальном времени и с использованием системы мониторинга и контроля потребления ресурсов:
1 – потери в реальном времени; 2 – потери энергии с использованием системы мониторинга и контроля потребления ресурсов

В заключении можно сказать, что авторами предложена система мониторинга и контроля потребления энергоресурсов на унифицированных модулях с единой элементной базой. Данная система позволяет существенно уменьшить потери тепла при транспортировке, регулировании, потерях на источнике и потерях энергии при потреблении.

Список библиографических ссылок

1. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. М. : Лабиринт, 2017. 240 с.
2. Данилов О. П. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. М. : МЭИ, 2011. 424 с.
3. Кашкаров А. П., Мовчан Д. А. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. М. : Лабиринт, 2012. 144 с.
4. Волков А. А. Интеллект зданий: формула // Промышленное и гражданское строительство, 2012, № 3. С. 54–57.
5. Global Energy Assessment Towards a Sustainable Future, IIASA, Austria, 2012.
6. Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU. Lessons from the ODYSSEE MURE project. Ademe, September, 2012.

7. IEA, The Energy Efficiency Market. Report, 2014.
8. Garyaeva V. & Garyaev N. Interpreted Assessment of the Technical condition of the Housing Project on the Basic of Computer Technology. Computer in Civil and Building Engineering, 2014. P. 1336–1343.
9. Комплексная система инженерного обеспечения, автоматизированного управления, связи и электропитания (КСИАС) : пат. 2445693 Рос. Федерация. № 2009121284/02 ; заявл. 05.10.10 ; опубл. 20.03.12, Бюл. № 11. 7 с.
10. Примак Л. В., Чернышев Л. Н. Энергосбережение в ЖКХ. М. : Академический проект, 2011. 622 с.

Khabibullin Iu.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: a0an@mail.ru

Barysheva O.B. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: obbars@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya str., 1

Development of alternative integrated dispatching of energy-saturated buildings

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify shortcomings in the currently functioning systems of individual metering and dispatching of energy resources at housing and utilities facilities and to create an optimized system for monitoring and controlling the performance of energy-saturated buildings and utilities using modern facilities and software.

Results. The main results of the research are the creation of an alternative system for the integrated dispatching of energy-saturated housing and communal services, which allows reducing financial costs, thanks to monitoring and control during the operation of buildings.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to increase the efficiency of the monitoring system and performance. This leads to an increase in the overall reliability of the functioning of engineering systems in utilities.

Keywords: Unified modules, automated system, energy resources, heat, monitoring.

References

1. Sibikin Yu. D., Sibikin M. Yu. Non-traditional and renewable energy sources. M. : Labirint, 2017. 240 p.
2. Danilov O. P. Energy saving in heat power engineering and heat technologies. M. : MEI, 2011. 424 p.
3. Kashkarov A. P., Movchan D. A. Wind turbines, solar panels and other useful structures. M. : Labyrinth, 2012. 144 p.
4. Volkov A. A. Intelligence of buildings: the formula // Industrial and civil construction, 2012, № 3. P. 54–57.
5. Global Energy Assessment Towards a Sustainable Future, IIASA, Austria, 2012.
6. Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU. Lessons from the ODYSSEE MURE project. Ademe, September, 2012.
7. IEA, The Energy Efficiency Market. Report, 2014.
8. Garyaeva V. & Garyaev N. Interpreted Assessment of the Technical condition of the Housing Project on the Basic of Computer Technology. Computer in Civil and Building Engineering, 2014. P. 1336–1343.
9. Integrated system of engineering support, automated control, communication and power supply (KSIA): patent 2445693 of the Rus. Federation. № 2009121284/02; decl. 05.10.10; publ. 20.03.12, Bull. in № 11. 7 p.
10. Primak L. V., Chernyshev L. N. Energy saving in housing and communal services. M. : Academic Project, 2011. 622 p.

УДК 536.24

Шигапова А.И. – студентE-mail: shigapova.alsush@bk.ru**Замалеев З.Х.** – кандидат технических наук, доцентE-mail: kafedra.te@mail.ru**Валиуллин М.А.** – кандидат технических наук, доцент**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Тепломассообмен при испарении водных растворов солей**Аннотация**

Постановка задачи. Целью работы является получение экспериментальных значений коэффициента массоотдачи для уточнения критериальных уравнений, описывающих тепломассообмен при испарении водных растворов солей, а также определение количества испарившейся жидкости и выделяющейся при этом теплоты.

Результаты. Сравнение экспериментальных значений коэффициента массоотдачи показывает, что критериальные зависимости точно описывают характер процесса. Рассчитаны массовые количества испарившегося раствора в зависимости от концентрации и тепловые потоки с поверхности испарения.

Выводы. Анализ полученных результатов позволил установить, что при использовании критериальных зависимостей необходимо учитывать температурные и скоростные диапазоны, в которых коэффициент массоотдачи, полученный с помощью эмпирических формул, наиболее близок к экспериментальным данным. Определены критериальные уравнения, которые могут быть рекомендованы для расчета тепломассообменных характеристик при испарении водных растворов. Результаты работы могут быть использованы при расчетах и проектировании как общеобменной, так и местной вентиляции.

Ключевые слова: коэффициент диффузии, коэффициент массоотдачи, критериальные зависимости, конвекция, теплота.

В расчетах систем вентиляции промышленных зданий часто возникает необходимость определения количества пара, поступающего в воздух помещения от испаряющегося раствора с открытой поверхности.

Имеется ряд критериальных зависимостей для расчета тепломассообмена при испарении жидкости. Применение этих зависимостей требует знания такой массообменной характеристики, как коэффициент диффузии. В работе [1] было показано, что коэффициент диффузии паров водных растворов солей в воздух зависит от концентрации раствора и отличается от коэффициента диффузии водяного пара в воздух.

При испарении с горизонтальных поверхностей в условиях естественной конвекции в работе [2] рекомендуется уравнение:

- при $(Ar \cdot Pr_D) - 3 \cdot 10^6 \div 3 \cdot 10^8$:

$$Nu_D = 0,66 \cdot (Ar \cdot Pr_D)^{0,26}. \quad (1)$$

В работе [3] при испарении жидкостей, пары которых легче воздуха, предлагается уравнение:

- при $(Ar \cdot Pr_D) - 2 \cdot 10^2 \div 7 \cdot 10^5$:

$$Nu_D = (Ar \cdot Pr_D)^{0,25}, \quad (2)$$

- при $(Ar \cdot Pr_D) \geq 7 \cdot 10^5$ уравнение:

$$Nu_D = 0,18 \cdot (Ar \cdot Pr_D)^{0,25}. \quad (3)$$

При испарении с горизонтальных поверхностей в условиях вынужденной конвекции в работе [4] рекомендуется следующее соотношение:

- при $Re < 5 \cdot 10^5$:

$$Nu_D = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33}, \quad (4)$$

- при $Re > 5 \cdot 10^5$ уравнение:

$$Nu_D = 0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33}. \quad (5)$$

В работе [2] предлагаются следующие критериальные зависимости:

- при $Re = 3,15 \cdot 10^3 \div 2,2 \cdot 10^4$:

$$Nu_D = 0,49 \cdot Re^{0,61} \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,135} \cdot \Theta^2, \quad (6)$$

- при $Re = 2,2 \cdot 10^4 \div 3,15 \cdot 10^4$:

$$Nu_D = 0,0248 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,135} \cdot \Theta^2. \quad (7)$$

В уравнениях (1)-(7):

$$Nu_D = b \frac{l}{D}, \quad Pr_D = \frac{n}{D}, \quad q = \frac{T_c}{T_n}, \quad Ar = \frac{g \cdot l^3}{n^2} \cdot \frac{r_o - r_n}{r_o}, \quad Re = \frac{u \cdot l}{n}, \quad Gu = \frac{T_c - T_m}{T_c},$$

где β – коэффициент массоотдачи, м/с;

$l = \sqrt{F}$ – определяющий размер;

F – площадь поверхности испарения;

D – коэффициент диффузии, м²/с;

ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

ρ_n – плотность влажного воздуха у поверхности испарения, кг/м³;

ρ_o – плотность влажного воздуха вдали от поверхности испарения, кг/м³;

T_c – температура сухого термометра, К;

T_m – температура мокрого термометра, К;

T_n – температура поверхности жидкости, К.

Количество пара (испарившейся жидкости) определяется по формуле:

$$J = \beta \cdot (c_n - c_o) \cdot F, \text{ кг}^2/\text{м}^2 \cdot \text{с}, \quad (8)$$

где $b = \frac{Nu_D}{l}$ – коэффициент массоотдачи;

c_n, c_o – концентрация водяного пара соответственно над поверхностью жидкости и в окружающей среде, кг/м³.

Эта величина находится по уравнению состояния:

$$c = \frac{p \cdot m}{R_m \cdot T}, \quad (9)$$

где p – парциальное давление пара при температуре паровоздушной смеси, Па;

R_m – универсальная газовая постоянная, Дж/кмоль·К;

m – молекулярная масса пара, кг/моль.

Коэффициент диффузии может быть найден из уравнения:

$$D = D_{\text{табл}} \cdot \left(\frac{T}{293} \right)^{1,89} \cdot \frac{101325}{P_{\text{бар}}}. \quad (10)$$

Массоотдача при испарении ряда водных растворов солей исследовалась на экспериментальной установке, схема которой приведена на рис. 1.

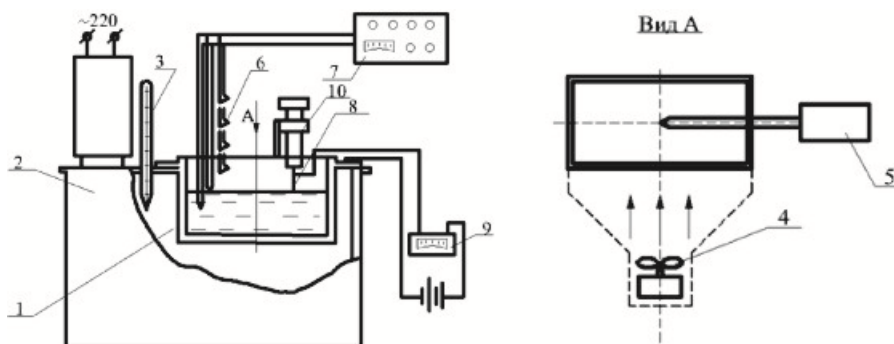


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Опытная камера 1 размерами 140×92×80 мм помещена в термостат 2. Температура термостатирования фиксировалась с помощью ртутного термометра 3. Поток воздуха над поверхностью жидкости создается вентилятором 4. Блок термопар 6 размещен следующим образом: одна термопара – в исследуемой жидкости, вторая – на поверхности жидкости, остальные 4 – над поверхностью жидкости. По мере испарения жидкости и снижения ее

уровня термпары, прикрепленные к вертикально перемещающейся плоскости, соответствующим образом перемещаются вниз. При этом фиксируется температура жидкости, ее поверхности и окружающей среды на разной высоте над поверхностью испарения. Значения температур определялись с помощью преобразователя 7.

Определение количества испарившейся жидкости проводится по ее убыли электроконтактным способом. При соприкосновении иглы 8 с поверхностью жидкости отклоняется стрелка гальванометра 9. В результате испарения уровень жидкости понижается, цепь размыкается. Через определенные интервалы времени Δt игла с помощью микрометрического винта приводится в соприкосновение с поверхностью жидкости, цепь снова замыкается. Показания микрометрического винта соответствуют убыли жидкости Δh . Массовое количество жидкости, испарившейся с поверхности, определится как:

$$j = \rho_{ж} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot F, \tag{11}$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости; $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ – берется из стационарного режима испарения по прямолинейному участку графика $\Delta h = f(\tau)$.

Коэффициент массоотдачи β определится из (8).

Исследование массоотдачи проводилось при испарении воды и водных растворов нитрата аммония – NH_4NO_3 , сернистого аммония – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, хлористого аммония NH_4Cl . Испарение воды исследовалось в интервале температур $t_{ж}=30,1\div 68^\circ\text{C}$, водных растворов солей при температуре $t_{ж}=39,1^\circ\text{C}$ во всем интервале концентраций. Параметры воздуха:

$T_{в} = 22^\circ\text{C}$, $\varphi = 55 \div 60 \%$, $P_{бар} = 750 \div 760$ мм. рт. ст., скорость $u = 0,5 \div 2,8$ м/с.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2-6.

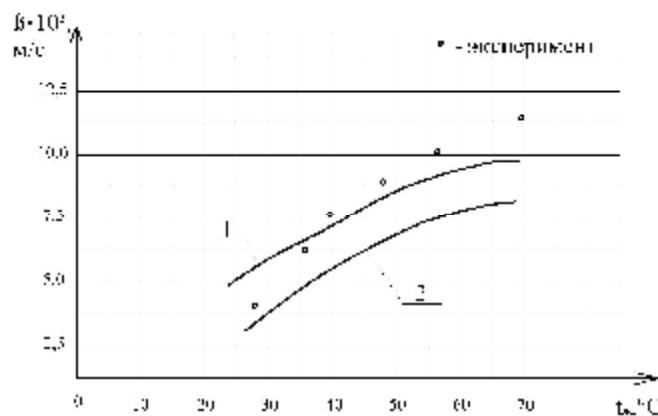


Рис. 2. Зависимость β от температуры воды: 1 – по уравнению (1), 2 – по уравнению (3)

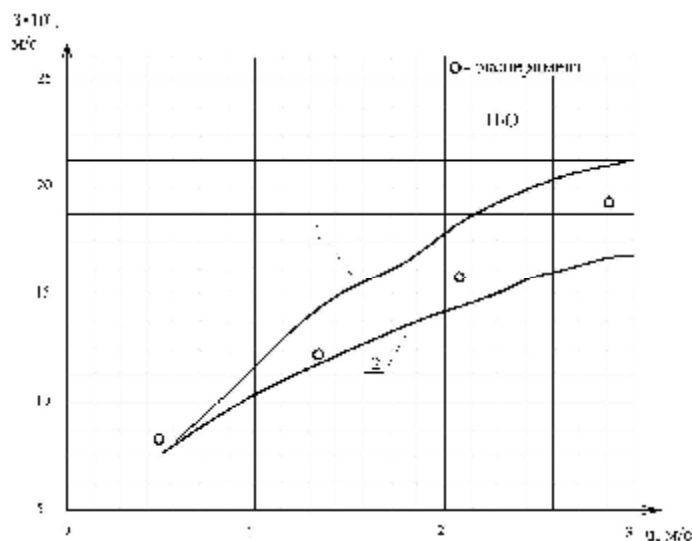


Рис. 3. Зависимость β от скорости потока: 1 – по уравнению (6), 2 – по уравнению (4)

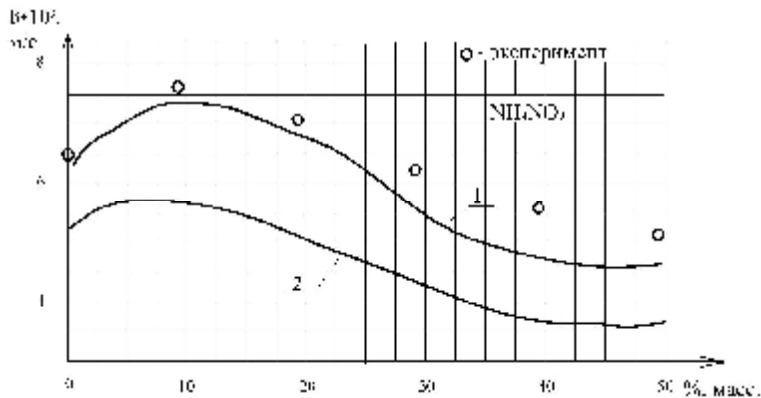


Рис. 4. Зависимость β от концентрации раствора: 1 – по уравнению (1), 2 – по уравнению (3)

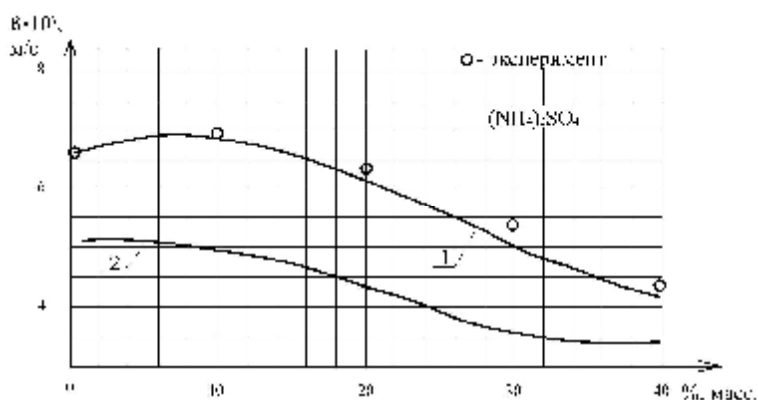


Рис. 5. Зависимость β от концентрации раствора: 1 – по уравнению (1), 2 – по уравнению (3)

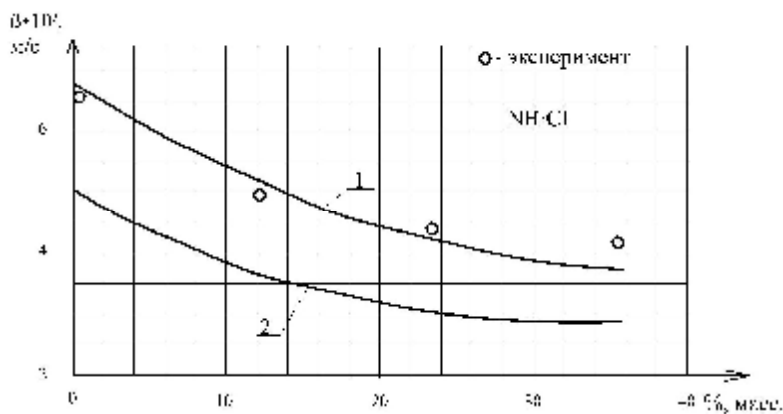


Рис. 6. Зависимость β от концентрации раствора: 1 – по уравнению (1), 2 – по уравнению (3)

При испарении воды экспериментальные значения β (рис. 2) при $t_{ж} \leq 30^\circ C$ ближе к рассчитанным по уравнению (3), при $t_{ж} \approx 33-50^\circ C$ значения β несколько выше, чем определенные по зависимости (1). В целом, критериальное уравнение (1) лучше описывает массоотдачу при испарении воды в условиях свободной конвекции.

Критериальные зависимости (4) и (6), используемые для расчета коэффициента массоотдачи при испарении в условиях вынужденной конвекции, при скоростях $u < 2$ м/с дают близкие значения β к полученным в эксперименте. С увеличением скорости расхождение возрастает. Экспериментальные значения β , как видно из рис. 3, занимают промежуточное значение между зависимостями (4) и (6).

Зависимость (4) получена из теоретического решения [4], а зависимость (6) – из обобщения экспериментальных данных с учетом термодинамических свойств влажного воздуха [2].

Сравнение экспериментальных значений β с рассчитанными по критериальным уравнениям (1) и (3) (рис. 4-6) показывает, что зависимость (1) также лучше описывает массоотдачу, особенно для водных растворов сернокислого и хлористого аммония (рис. 5-6).

Следует заметить, что при выборе критериальной зависимости важное значение имеет определение критического произведения ($Ar \cdot Pr_D$). Можно предположить, что при использовании численных значений $n=0,25$ в уравнении (1) и $n=0,33$ в зависимости (3) учитываются не все факторы, влияющие на массоотдачу при испарении.

Полученные экспериментальные результаты согласно уравнению (11) позволили также определить массовое количество жидкости, испарившейся с поверхности раствора. На рис. 7 показана зависимость количества испарившегося раствора с 1 м^2 поверхности от концентрации NH_4NO_3 , NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

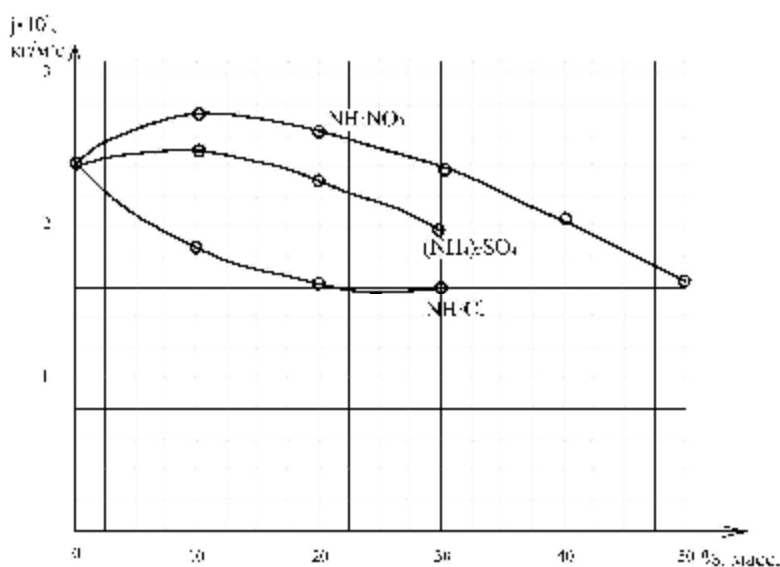


Рис. 7. Концентрационная зависимость количества испарившегося раствора

Изменение j от концентрации растворов NH_4NO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ аналогично соответствующему изменению коэффициента диффузии паров в воздух. Для раствора хлористого аммония такого соответствия не наблюдается, что может быть связано с двумя причинами. Первая – отсутствие данных по изменению общего давления паров от концентрации раствора (при расчёте коэффициента диффузии используется лишь величина давления пара воды над раствором). Вторая причина – низкая температура насыщения раствора солью (наблюдается появление кристаллов соли на поверхности раствора).

Наряду с определением количества выделяющегося при испарении вещества необходимо зачастую устанавливать и количество теплоты, участвующей в процессе. Плотность теплового потока, передаваемого от поверхности раствора при его испарении в воздух, складывается из трех составляющих:

$$q = q_n + q_k + q_l, \quad (12)$$

где q_n – количество теплоты, переносимой в воздух вместе с парами раствора, Вт/м^2 ;

q_k – количество теплоты, переносимой с поверхности раствора конвекцией, Вт/м^2 ;

q_l – количество теплоты, отдаваемой с поверхности раствора излучением, Вт/м^2 .

Составляющие уравнения (12) определяются по формулам:

$$q_n = j \cdot r, \quad (13)$$

$$q_k = \alpha \cdot (t_n - t_k), \quad (14)$$

$$q_l = e_n \cdot c_o \cdot \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right]. \quad (15)$$

В формулах (13)-(15):

r – скрытая теплота парообразования, Дж/кг;

$a = Nu \cdot \frac{l}{l}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/м²·К;

Nu – критерий Нуссельта, характеризующий теплоотдачу при испарении жидкости в парогазовую среду;

ε_n – приведенная степень черноты системы;

$c_0 = 5,67$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/м²·К⁴.

Сводные данные по тепломассообмену при испарении исследованных водных растворов солей приведены в табл.

Таблица

**Сводные данные по тепломассообмену
при испарении исследованных водных растворов солей**

| Водный раствор NH ₄ NO ₃ | | | | | | |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Концентрация раствора %, масс | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| $\rho_{ж}$, кг/м ³ | 992,8 | 1039,8 | 1073,9 | 1117,6 | 1164,7 | 1214,8 |
| $j \cdot 10^4$, кг/м ² ·с | 2,45 | 2,83 | 2,61 | 2,38 | 2,07 | 1,68 |
| q_n , Вт/м ² | 590,4 | 682,0 | 629 | 573,5 | 498,8 | 404,8 |
| q , Вт/м ² | 745,5 | 837,1 | 784,1 | 728,6 | 653,9 | 559,9 |
| Водный раствор (NH ₄) ₂ SO ₄ | | | | | | |
| $\rho_{ж}$, кг/м ³ | 992,8 | 1050 | 1108 | 1163 | – | – |
| $j \cdot 10^4$, кг/м ² ·с | 2,48 | 2,6 | 2,35 | 2,02 | – | – |
| q_n , Вт/м ² | 590,4 | 626,5 | 566,3 | 486,8 | – | – |
| q , Вт/м ² | 745,5 | 781,6 | 721,4 | 641,9 | – | – |
| Водный раствор NH ₄ Cl | | | | | | |
| $\rho_{ж}$, кг/м ³ | 992,8 | 1021,9 | 1049,9 | 1065,6 | – | – |
| $j \cdot 10^4$, кг/м ² ·с | 2,45 | 1,83 | 1,71 | 1,62 | – | – |
| q_n , Вт/м ² | 590,4 | 441,0 | 412,1 | 390,4 | – | – |
| q , Вт/м ² | 745,5 | 596,1 | 567,2 | 545,5 | – | – |

Результаты по тепломассообмену при испарении водных растворов солей могут быть рекомендованы для расчета и проектирования как местной, так и общеобменной вентиляции.

Список библиографических ссылок

1. Нарбеков А. И., Сергеенко Э. С. Диффузия паров водных растворов нитрата аммония в воздух. Тепломассообмен в отопительно-вентиляционных установках. Казань : КХТИ, 2009. 83 с.
2. Нестеренко А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. М. : Книга по требованию, 2012. 460 с.
3. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. М. : Книга по требованию, 2012. 284 с.
4. Эккерт Э. Р., Дрейк Р. М. Теория тепло и массообмена. М. : Госэнергоиздат, 2012. 680 с.
5. Abou Al., Sood M. M., Birouk M. Droplet heat and mass transfer in a turbulent hot airstream. М. : Inter, 2008. С. 1313–1324.
6. Kumada T., Hirota T., Tamura N., Ishiguro R. Heat and mass transfer with liquid evaporation into a turbulent air stream. М. : Letters in Heat and Mass Transfer, 2012. С. 1–9.
7. Volchkov E. P. Concerning the heat and mass transfer features on permeable surfaces. М. : Inter. J. Heat Mass Transfer, 2013. 755 с.

8. Коваленко Н. Д. Аэро-газодинамика и нестационарный тепломассообмен. М. : Книга по требованию, 2013. 148 с.
9. Бухмиров В. В. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен. Иваново : ИГЭУ, 2010. 24 с.
10. Григорьев Б. А. Тепломассообмен. М. : Книга по требованию, 2013. 550 с.

Shigapova A.I. – student

E-mail: shigapova.alsush@bk.ru

Zamaleev Z.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: kafedra.te@mail.ru

Valiullin M.A. – candidate of technical sciences, associate professor

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Heat and mass transfer in the evaporation of aqueous solutions of salts

Abstract

Problem statement. The aim of this work is to obtain experimental values of the coefficient of mass transfer to clarify the criterion of equations describing the heat and mass transfer by evaporation of aqueous solutions of salts, as well as determining the quantity of evaporated liquid and released during this heat.

Results. The comparison of experimental values of the coefficient of mass transfer shows that the criterion according to precisely describe the nature of the process. The calculated mass number of evaporated solution, depending on concentration and heat fluxes from the surface evaporation.

Conclusions. Analysis of the obtained results has allowed to establish that, when using criterial dependencies, it is necessary to consider the temperature and speed ranges in which the coefficient of mass transfer obtained by empirical formula that is closest to the experimental data. Identified the criterial equations that can be recommended for the calculation of heat and mass transfer characteristics during the evaporation of aqueous solutions. The results can be used in the calculations and design as well as general exchange so local ventilation.

Keywords: the diffusion coefficient, mass transfer coefficient, the criterion of dependence, convection heat.

References

1. Narbekov A. I., Sergeenko E. S. Diffusion of vapors of aqueous solutions of ammonium nitrate in the air. Heat and mass transfer in heating and ventilation installations. Kazan : Kazan State Technological University, 2009. 83 p.
2. Nesterenko A. V. Fundamentals of thermodynamic calculations of ventilation and air-conditioning. M. : Book on demand, 2012. 460 p.
3. Alterman, V. M. Ventilation of chemical plants. M. : Book on demand, 2012. 284 p.
4. Eckert E. R., Drake R. M. Theory of heat and mass transfer. M. : Gosenergoizdat, 2012. 680 p.
5. Abou Al., Sood M. M., Birouk M. Droplet heat and mass transfer in a turbulent hot airstream. M. : Inter, 2008. P. 1313–1324.
6. Kumada T. T., Hirota N., Tamura R. Ishiguro Heat and mass transfer with liquid evaporation into a turbulent air stream. M. : Letters in Heat and Mass Transfer, 2012. P. 1–9.
7. Volchkov E. P. Concerning the heat and mass transfer on permeable surfaces features. M. : Inter. J. Heat Mass Transfer, 2013. 755 p.
8. Kovalenko N. D. Aero-gas dynamics and unsteady heat and mass transfer. M. : Book on demand, 2013. 148 p.
9. Bohirov V. V. Theoretical principles of heat engineering. Heat and mass transfer. Ivanovo : IGEU, 2010. 24 p.
10. Grigoriev B. A. Heat And Mass Transfer. M. : Book on demand, 2013. 550 p.



УДК 628. 16. 087

Захватов Г.И. – доктор технических наук, профессор

E-mail: avtel@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Воздействие электрических факторов на эффективность процесса электронейтрализации водных эмульсий

Аннотация

Постановка задачи. Работа посвящена решению вопроса о влиянии различных электрических факторов на процесс разделения водных эмульсий методом электронейтрализации. В качестве таких факторов выбраны электродная плотность тока, частота и форма электрических импульсов.

Результаты. Основным параметром, влияющим на эффективность процесса, является электродная плотность тока. Установлено, что оптимальный диапазон плотностей тока находится в диапазоне 0,1-0,3 А·дм⁻². При более низких плотностях тока эффективность процесса существенно уменьшается. Более высокие плотности тока увеличивают эффективность процесса незначительно. Частота тока также играет существенную роль в процессе электронейтрализации. При частотах ниже 40 Гц эффективность процесса существенно уменьшается, а увеличение частоты выше 540 Гц практически не влияет на эффективность процесса. Форма электрических импульсов не оказывает какого-либо влияния при условии, если они являются периодическими и биполярными. Униполярные и асимметричные импульсы резко снижают эффективность процесса.

Выводы. Для практического использования метода электронейтрализации оптимальным диапазоном плотностей тока является 0,1-0,3 А·дм⁻², частота тока 50-60 Гц, при использовании биполярных периодических сигналов. Оптимизация метода позволит усилить его эффективность для использования в процессах очистки сточных вод на предприятиях строительной отрасли и других строительных объектах.

Ключевые слова: водные эмульсии, метод электронейтрализации, устойчивость водных эмульсий.

Процесс электрообработки водных систем достаточно известен и находит практическое применение в различных производствах. Наиболее распространенными и исследованными из этих методов являются электрокоагуляция и электрофлотация [1-4]. Наиболее широко эти методы применяются для очистки сточных вод, нейтрализации отработанных растворов и изредка в процессах регенерации. Метод электронейтрализации может быть использован, как для очистки сточных вод от нефтепродуктов, так и для регенерации гальванохимических растворов [5-9]. Особенностью данного метода является использование переменного электрического поля, позволяющее разрушать устойчивость эмульсий при низких энергетических затратах, отсутствие дополнительных побочных отходов в сочетании с высокой эффективностью. В процессе не используются растворимые электроды, отсутствует пенно и газообразование. Метод электронейтрализации использует механизм непосредственного разрушения электрического заряда частиц эмульсии, препятствующего их флокуляции и последующей флотации и разделению эмульсии. Методы электрокоагуляции и электрофлотации принципиально отличаются в этом отношении.

Процессы электрокоагуляции связаны с использованием растворимых анодов, что является главным недостатком метода. Помимо расхода металла, в процессе образуется большое количество сильно обводненных соединений. Образующийся аморфный осадок требует значительных затрат на утилизацию. Выделение водорода в процессе делает его взрывоопасным.

При электрофлотации не используются растворимые электроды. Но главный недостаток метода малая эффективность. В связи с этим, метод электрофлотации, как правило, используется в комбинации с другими методами.

Процесс разрушения устойчивости водных эмульсий органических веществ в переменном электрическом поле зависит от множества факторов и, прежде всего, на эффективность процесса влияют электрические параметры, поскольку они, в основном, определяют механизм процесса. Данный процесс определяет возможность использования электронейтрализационного метода как для очистки сточных вод от нефтепродуктов, так и для регенерации ряда растворов. Влияние неэлектрических факторов на процесс [10] также весьма значительно, но оно не зависит принципиально от механизма процесса и связано с характером самой эмульсии или гидродинамическими параметрами процесса. Энергетическое воздействие электрического поля будет зависеть, в основном, от электродной плотности тока и, в связи с этим, она является основной характеристикой процесса электронейтрализации. Естественно влияние этой характеристики будет зависеть от других параметров процесса. Кроме того, определенную роль играет конструкция установки. Установки могут быть выполнены, как с вертикальной, так и с горизонтальной электродной системой. Установки с горизонтальной электродной системой обеспечивают несколько более высокую эффективность процесса при прочих равных условиях, хотя установки с вертикальной электродной системой более удобны в эксплуатации. Однако влияние электродной плотности тока на процесс в обоих случаях довольно близкое.

Влияние материала электродов также играет существенную роль. Поскольку метод электронейтрализации связан с использованием нерастворимых электродов, то, с практической точки зрения могут использоваться электроды из титана или алюминиевых сплавов. При этом, алюминиевые электроды значительно менее устойчивы и могут использоваться далеко не во всех случаях. Титановые электроды в некоторых случаях должны быть защищены от разрушения путем специальной термохимической обработки.

В данной работе исследования проводились, в основном, на эмульсиях, приготовленных на основе инструментальных масел И-20 и И-40. Следует отметить, что для эмульсий на основе октана были получены близкие результаты. Эмульсии готовились путем электромеханического эмульгирования с последующим отстаиванием в течение суток для отделения неустойчивой части. Достоверность результатов обеспечивалась двух-трех кратным дублированием опытов. В случае значительного разброса данных эксперимент проводился до получения устойчивых значений.

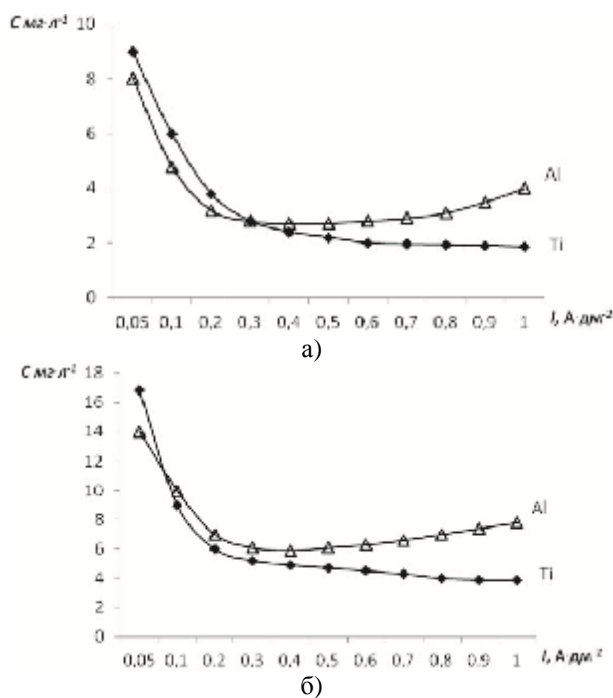


Рис. 1. Зависимость остаточной концентрации масла И-40 после обработки эмульсии при разных электродных плотностях тока. Установка с вертикальными электродами:

а – эмульсия с начальным содержанием масла 20 ± 1 мг·л⁻¹;

б – 93 ± 2 мг·л⁻¹; $v = 2,5$ см·мин⁻¹, межэлектродное расстояние 5 см

В качестве источников питания использовался генератор синусоидальных и прямоугольных импульсов, а также собственные установки. На рис. 1 представлена зависимость остаточного содержания масла эмульсии И-20 после электрообработки от электродной плотности тока. Как видно из приведенных результатов, рис. 1, эффективность процесса с увеличением плотности тока возрастает, хотя этот рост не является однозначным. В диапазоне плотностей тока от $0,05 \text{ А·дм}^{-2}$ до $0,2 \text{ А·дм}^{-2}$ эффективность процесса, за основу которой берется остаточное содержание масла в эмульсии, резко возрастает. С увеличением плотности тока в диапазоне свыше $0,2 \text{ А·дм}^{-2}$ до $0,4-0,5 \text{ А·дм}^{-2}$ эффективность процесса возрастает незначительно, а, в дальнейшем практически прекращается. Таким образом, энергетическое воздействие (плотность тока) действительно играет наиболее важную роль, с точки зрения разрушения устойчивости эмульсии: чем выше энергетическое воздействие, тем более эффективен процесс. При низких энергетических воздействиях эффективность процесса очень мала.

На рис. 1а и 1б видно возрастание эффективности (снижение остаточного содержания масла) с возрастанием плотности тока и последующая стабилизация процесса. Следует отметить некоторое ухудшение результатов при высоких плотностях тока в установках с электродами из алюминия. Это можно объяснить началом растворения алюминия при высоких плотностях тока.

Объяснением прекращения возрастания эффективности процесса при высоких плотностях тока может быть то обстоятельство, что, при высоких плотностях тока наступает, по-видимому, разрушение поверхностного заряда даже у наиболее устойчивых частиц эмульсии. При этом, анионы, образующие отрицательный заряд этих частиц, полностью теряют связь с частицами эмульсии, которые затем флокулируют до крупных размеров за счет термокинетических сил и сил Ван-дер-Ваальса. Частицы, достигающие критических размеров, флокуруются в верхний слой эмульсии, в результате чего происходит ее расслоение. Таким образом, плотность тока $0,1-0,2 \text{ А·дм}^{-2}$ является минимальной с энергетической точки зрения.

Следует отметить несколько неожиданное уменьшение эффективности при больших плотностях тока для установок с алюминиевыми электродами. Это можно объяснить частичным растворением электродов с образованием гидроксида алюминия, стабилизирующего эмульсию. Необходимо отметить, что приведенные данные связаны с использованием частоты тока 50 Гц, что наиболее удобно с точки зрения использования промышленных источников тока. С другой стороны, естественным было исследовать влияние частоты на эффективность процесса. На рис. 2 представлены зависимость эффективности процесса от частоты в исследованном диапазоне от 0,02 до 1,0 кГц.

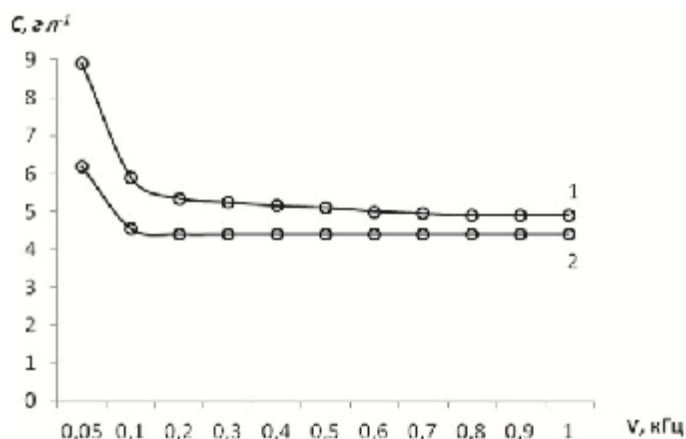


Рис. 2. Влияние частоты тока на остаточное содержание масла в эмульсии после электрообработки: 1 – для масла МВП, 2 – масла И-20, $I = 0,1 \text{ А·дм}^{-2}$, $v = 10 \text{ см·мин}^{-1}$, $d = 7 \text{ см}$

Из данных рис. 2 очевидно, что для двух исследованных эмульсий на основе промышленных масел МВП и И-20, частота практически не влияет на эффективность процесса, за исключением области низких частот ниже 40 Гц. Можно предположить, что

это вызвано релаксацией поверхностного заряда частиц при низких частотах. Таким образом, промышленная частота тока 50 (60) Гц является наиболее приемлемой с технической точки зрения.

Во всех проведенных исследованиях использовался синусоидальный переменный ток. Естественным было проверить, влияет ли форма электрического сигнала на эффективность процесса. Для исследования были взяты, как периодические, симметричные по форме напряжения, так и асимметричные. В качестве источников напряжения использовались стандартные генераторы электрических сигналов, так и собственные установки. Форма сигнала контролировалась осциллографом. Результаты представлены на рис. 3.

Как видно из данных рис.3, форма использование периодического симметричного напряжения мало влияет на эффективность процесса (кривые 1, 2, 3). В то же время использование асимметричного напряжения (кривая 4), или униполярного напряжения (кривые 5 и 6) приводит к резкому ухудшению результатов, с точки зрения эффективности процесса разделения эмульсии.

Объяснение полученных результатов может быть следующим. Униполярные импульсы делают процесс электрообработки близким к электролизу. А это фактически означает, что используется принцип электрофлотации. Электрофлотация в чистом виде, как уже отмечалось ранее, для разделения эмульсий малоэффективна. Этот вывод подтверждается экспериментальными результатами.

Несколько лучшие результаты получены с использованием асимметричных напряжений. В качестве источника асимметричного напряжения использовалась установка, работающая по принципу наложения постоянного напряжения на переменное с использованием разделительных R,C элементов. Наличие постоянной составляющей, по-видимому, снижает эффективность процесса.

Форма же симметричных периодических импульсов на эффективности процесса практически не сказывается, так как механизм процесса не меняется.

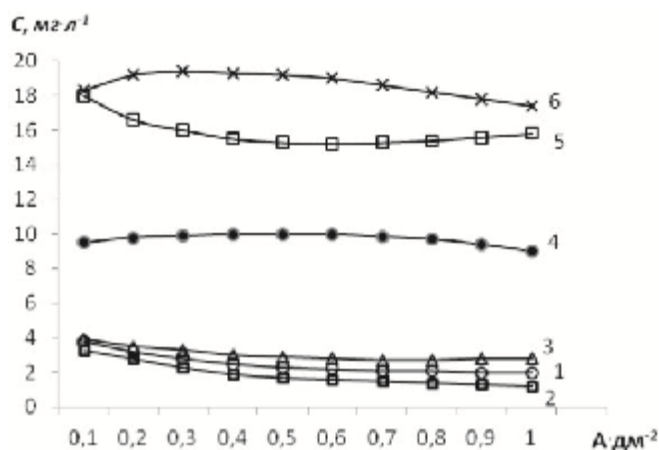


Рис. 3. Остаточное содержание масла И-20 в эмульсии, обработанной переменным током с разной формой задающего напряжения (частота 50 Гц) при разных плотностях тока: 1 – синусоидальное напряжение, 2 – прямоугольные симметричные импульсы, 3 – трапециевидные импульсы, 4 – синусоидальное асимметричное напряжение (дополнительное наложение постоянного тока $I = 0,5$ A·дм² на переменный синусоидальный ток, 5 – синусоидальные импульсы с однополупериодным выпрямлением и 6 – двухполупериодным выпрямлением

Разумеется, приведенные данные в определенной степени не являются исчерпывающими, так как исследование было ограничено конкретными рамками. Например, частотный диапазон был ограничен по верхнему пределу частотой 1 кГц. Нельзя исключать возможность, что при частотах порядка десятка и выше кГц, эффективность процесса разделения эмульсий данным методом может возрасти. То же самое можно сказать про электронейтрализацию водных эмульсий на основе других органических веществ, которые не были исследованы. Следует, правда, отметить, что

выборочные эксперименты были проделаны с эмульсиями на основе октана. Были получены близкие результаты, которые не приведены в данной статье, ввиду недостаточности экспериментальных данных. Выбор для исследования эмульсий на основе технических масс был мотивирован тем, что они являются наиболее распространенной формой органических загрязнений.

Что касается результатов практического использования метода электронейтрализации, то можно однозначно утверждать, что они подтверждают приведенные здесь результаты, касающиеся влияния плотности тока на процесс. Промышленные установки, как правило, используются для смешанных стоков. Тем не менее, плотности тока на уровне 0,1-0,2 А·дм⁻² являются достаточными для эффективной работы установок. Следует, тем не менее, отметить, что для некоторых устойчивых эмульсий целесообразно использовать более высокие плотности тока, но это отдельная тема.

Следует обратить особое внимание на результаты по использованию различных источников питания. Как это было установлено экспериментально, форма биполярных периодических импульсов практически не сказывается на эффективности процесса разделения эмульсий. Это подчеркивает специфику метода, так как именно этим обеспечивается большая эффективность метода электронейтрализации по сравнению с электрофлотацией и электрокоагуляцией. Именно этому униполярных импульсов неэффективно, поскольку сводит процесс к электролизу со всеми вытекающими последствиями. Даже периодическое напряжение, имеющее постоянную составляющую малоэффективно с этой точки зрения, хотя и показывает лучшие результаты по сравнению с процессами, использующими униполярные импульсы.

Выводы

Электрические параметры играют определяющую роль в процессе электронейтрализации, применяемом для разделения водных эмульсий органических веществ. Из исследованных параметров основным является электродная плотность тока. Диапазон плотностей тока 0,1-0,2 А·дм⁻² является оптимальным с практической точки зрения.

Частота импульсов также имеет большое значение в процессе электронейтрализации. При этом, частоты ниже 40 Гц резко ухудшают эффективность процесса. Увеличение частоты выше 60 Гц не сказывается на эффективности в исследованном диапазоне частот. Для практических целей стандартная частота 50 Гц является оптимальной, так как позволяет использовать самые разнообразные источники переменного напряжения

Форма электрических сигналов не влияет на эффективность процесса разделения эмульсий, если эти сигналы являются периодическими биполярными. Униполярные источники питания, а также асимметричное напряжение являются неприемлемыми, ввиду очень малой эффективности. На практике можно использовать в качестве энергообеспечения процесса любые источники синусоидального напряжения с частотой 50 Гц.

Список библиографических ссылок

1. Vflocootian V., Vasoonian H. G., Moosazadeh. Performance evaluation of elctrocoagulation process using iron-red electrodes for removing hardness from drinking water // *Desalination*, 2010, № 255. P. 67–71.
2. Mansour S. E., Hasieb I. H. I., Khalef H. A. Removal Of cobalt from drinking water by alternating current coagulation // *Journal of Applied Sciences*. 2012. № 12. P. 78–79.
3. Nandi B. K., Patel S. Removal of brilliant green from aqueous solution by electrocoagulation using aluminum electrodes: experimental, kinetics, modeling // *Separation Science technology*. 2014. № 49. P. 601–612.
4. Merzouk B., Madani K., Seki A. Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies // *Desalination*. 2010. № 250. P. 573–577.

5. Захватов Г. И., Никитин Ю. В. Использование электронейтрализационного метода очистки стоков от нефтепродуктов на предприятиях электроэнергетики // Энергетика. 2015, № 7. С. 33–35.
6. Захватов Г.И., Никитин Ю.В. Электронейтрализационные установки для очистки сточных вод от нефтепродуктов : сб. статей IX Международной научно-практической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности» / ПГСХА, 2009. С. 86–88.
7. Захватов Г. И. Регенерация растворов как метод создания замкнутых технологических циклов // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 262–265.
8. Захватов Г. И. Опыт очистки сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ в энергетике // Известия КГАСУ. 2013. № 4 (26). С. 202–206.
9. Минаков В. В., Кривенко С. М., Никитина Т. О. Новые технологии очистки от нефтяных загрязнений // Экология и промышленность России. 2002. № 5. С. 7–9.
10. Захватов Г. И. Влияние pH среды на устойчивость водных эмульсий при электрообработке // Успехи современной науки. 2016. № 11. С. 170–172.

Zahvatov G.I. – doctor of technical science professor

E-mail: avtel@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The force of electrical factors on efficiency of electroneutralization process for water emulsions

Abstract

Problem statement. The work has a course to decide the question about influence of different electric factors on the process of water emulsion dividing by electroneutralization method. Such factors were electrode density of current, frequency and the form of electric impulses.

Results. The base parameter which influence on the process is electrode density of current, It is established optimal range of current density. It is about 0,1-0,3 A·dm⁻². The efficiency is decreasing for lower current density. Higher current density gives negligible increasing of process efficiency. Current frequency plays a considerable role in the electroneutralization process too. The efficiency of process is decreasing for frequencies lower 40 Hz. The increasing of frequency more 540 Hz does not influence on process practically. The form of electric impulses does not influence significantly, if that impulses are bipolar and periodical. Unipolar and asymmetrical impulses dramatically reduce the efficiency of the process.

Conclusions. For the practical use of the electroneutralization method, the optimal range of current densities is 0,1-0,3 A·dm⁻², current frequency 50-60 Hz, using bipolar periodic impulses. The optimization of method allow the increasing his efficiency for using in the processes of waste water cleaning on building plants and another buildings.

Keywords: water emulsions, electroneutralization method, stability of water emulsions.

References

1. Vflocootian V., Vasoonian H. G., Moosazadeh. Performance evaluation of elctrocoagulation process using iron-red electrodes for removing hardness from dritking water // Desalination, 2010, № 255. P. 67–71.
2. Mansour S. E., Hasieb I. H. I., Khalef H. A. Removal Of cobalt from drinking water by alternating current coagulation // Journal of Applied Sciences. 2012. № 12. P. 78–79.
3. Nandi B. K., Patel S. Removal of brilliant green from aqueous solution by electrocoagulation using aluminum electrodes: experimental, kinetics, modeling // Separation Science technology. 2014. № 49. P. 601–612.

4. Merzouk B., Madani K., Seki A. Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater ,two case studies // *Desalination*. 2010, № 250. P. 573-577.
5. Zakhvatov G. I., Nikitin Y. Y. The using electroneutralization cleaning method of waster water from the oil products on electroenergy plants // *Energetica*. 2015. № 7. P. 33–35.
6. Zakhvatov G. I., Nikitin Y. Y. The electroneutralization supplies for waste water cleaning from oil products : A collection of articles of the IX International Scientific and Practical Conference «Ecology and Life Safety» / PGSHA. Penza, 2009. P. 86–88.
7. Zakhvatov G. I. The regeneration of solutions as method for creation exclusive technologic cycles // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 2 (16). P. 262–265..
8. Zakhvatov G. I. The experience for waste water cleaning from oil products and weight substances power industry // *Izvestiya KGASU*. 2013. № 4. P. 202–206.
9. Minakov V. V., Krivenko S. M., Nikitina N. O. New technologies of oil cleaning // *Ecologiya i promishlennosti Rossiyi*. 2002. № 5. P. 7–9.
10. Zakhvatov G. I. Influence of pH environment on the stability of water emulsions after electrical treatment // *Uspekhi sovremennoi nauki*. 2016. № 11. P. 170–172.



УДК 691.545

Ермилова Е.Ю. – аспирант

E-mail: lizabeta_91@list.ru

Камалова З.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: zlesik@mail.ru

Рахимов Р.З. – доктор технических наук, профессор

E-mail: rahimov@kgasu.ru

Мустафина А.Р. – студент

E-mail: kapriz06_07@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исследование влияния добавок термоактивированных смесей на свойства композиционного цемента

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработка комплексных добавок на основе термоактивированных искусственных смесей глины и известняка с содержанием кальцита 87 %, оптимизация состава и параметров термоактивации, а также исследование влияния полученных комплексных добавок на свойства композиционного цементного камня.

Результаты. Основные результаты работы состоят в том, что разработаны составы комплексных добавок на основе термоактивированных искусственных смесей глины и карбонатов. Исследованы физико-механические, физические свойства полученных смесей и их влияния на свойства композиционного цемента.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что результаты экспериментов позволили установить возможность замены до 20 % портландцемента комплексной добавкой термоактивированных смесей на основе глины и известняка без потери прочности полученного композиционного цементного камня. При этом прочность композиционного цементного камня в возрасте 28 суток составила 90-95 % от прочности бездобавочного образца.

Ключевые слова: композиционный портландцемент, полиминеральная глина, известняк, каолинистая глина, цементный камень.

Введение

Введение минеральных добавок является одним из универсальных и эффективных способов управления составом, структурой, техническими и технологическими свойствами и экономическими показателями цементных композиций [1-3].

Модификация различных вяжущих и материалов на их основе добавками с целью улучшения их свойств началась 6-7 тысяч лет назад [4]. Введение минеральных добавок в портландцемент и цементные композиты началось с развитием их производства с середины XIX века для получения гидротехнических, коррозионностойких бетонов для морских сооружений [5]. В настоящее время перечень таких добавок включает тысячи разновидностей, а объемы производства и применения портландцементов с минеральными добавками или так называемых композиционных портландцементов и материалов на их основе в разных странах достигает 60-90 %.

Большое значение в создании композиционных цементов играют комплексные добавки, которые отличаются наличием синергетического эффекта при совместном введении нескольких минеральных добавок [6]. Одним из перспективных направлений является создания комплексных добавок на основе сочетания обожженных глины, в т.ч. и чисто каолинистых, с известняком [7].

В то же время, в карбонатных породах в большинстве случаев, присутствуют глинистые примеси, которые отрицательно сказываются на свойствах получаемых цементов и бетонов с их использованием. В 20-е гг. 20 века Вейнером [8] было установлено, что смесь тонкоизмельченного углекислого кальция с глиной приводит к разложению первого при температуре более низкой, чем 910 °С (температуре диссоциации кальцита). При температуре 500 °С образуется однокальциевый алюминат, а

при 700 °С – двухкальциевый силикат, в который при температуре 800 °С полностью переходит весь остаток кремнекислоты, образующейся из алюмината кальция метакеолинита [8].

Исследования Горланда [8] показали, что в интервале температур 660-810°С разлагается почти все количество углекислого кальция, содержащегося в спондиловой (мергелистой глине), а при 800 °С в глине уже отсутствует углекислый кальций, но присутствует свободная известь.

Рамачандраном В.С. [9] установлено, что процесс декарбонизации карбоната кальция и дегидратации глины при получении цементного клинкера начинается при температуре ниже 800 °С с образованием СА. В диапазоне температур 800-900 °С начинает формироваться двухкальциевый силикат. Автором подчеркивается, что в смеси «глина-СаСО₃» процессы происходят быстрее, чем при использовании чистых оксидов.

Цель работы

Разработка комплексных добавок на основе термоактивированных искусственных смесей глин и известняка с содержанием кальцита 87 %, оптимизация состава и параметров термоактивации, а также исследование влияния полученных комплексных добавок на свойства композиционного цементного камня.

Экспериментальная часть

Образцы изготавливались на портландцементе ОАО «Вольскцемент» марки ЦЕМ I 42,5 Н (табл. 1), химический состав которого представлен в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики Вольского портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н

| Прочность на сжатие МПа | | Свойства | |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 3 суток | 33,5 | Уд. поверхность (по Блейну) | 345 м ² /кг |
| 28 суток | 51,0 | Насыпная плотность | 1000 г/л |
| После пропаривания | 42,0 | Нормальная густота | 27,5 % |
| | | Начало схватывания | 2:50 ч:мин |
| | | Конец схватывания | 4:10 ч:мин |
| Минералогический состав | | | |
| Алит С ₃ S | Белит С ₂ S | Алюминаты С ₃ A | Алюмоферриты С ₄ AF |
| 67,0 | 11,0 | 4,0 | 15,0 |

Таблица 2

Химический состав экспериментальных материалов

| Химический состав (%) | Вольский ЦЕМ I 42,5Н | Новоорская глина | Кошачковская глина | Камаевский известняк |
|----------------------------------|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| CaO | 63,0 | 0,20 | 2,16 | 47,73 |
| SiO ₂ | 20,5 | 69,18 | 64,5 | 9,19 |
| Al ₂ O ₃ | 4,5 | 19,55 | 13,96 | 0,9 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,5 | 1,32 | 7,30 | 1,9 |
| MgO | 1,5 | 0,42 | 2,18 | 0,86 |
| SO ₃ | 3,0 | <0,05 | <0,05 | - |
| Na ₂ O | - | <0,3 | 0,98 | - |
| K ₂ O | - | 0,92 | 1,97 | - |
| Na ₂ O _{экв} | 0,7 | - | - | - |
| TiO ₂ | - | 1,36 | 1,97 | - |
| ZrO | - | - | 0,88 | - |
| FeO | - | - | 0,88 | - |
| MnO | - | 0,01 | 0,10 | - |
| P ₂ O ₅ | - | 0,10 | 0,11 | - |

Для исследований была принята каолинистая глина (КГ) Новоорского месторождения Оренбургской области с содержанием каолинита 82,3 % и кварца 17,7 % полиминеральная глина (ПГ) Кошачковского месторождения РТ с мин составом, % от масс.: каолинит – 4,06; кварц – 35,8; альбит – 14,79; микроклин – 17,4; монтмориллонит – 17,9; хлорид – 4,1; слюда – 6,0. Химический состав исходного глинистого сырья приведен в табл. 2. Термоактивация глины выполнялась в лабораторной камерной электропечи SNOL-7,2/1100. В качестве карбонатной породы был выбран известняк Камаевского месторождения РТ с содержанием кальцита 87 %. Химический состав приведен в табл. 2. Выбранные материалы размалывались в шаровой лабораторной мельнице до оптимальной удельной поверхности 300 м²/кг. Обжиг осуществлялся со скоростью подъема температуры 10 °С/мин, в связи с тем, что для образования белитовой оболочки вокруг частиц кварца необходим быстрый нагрев, обеспечивающий хорошее перемешивание кремнеземистых и известковых компонентов [10, 11].

Для проведения эксперимента из теста нормальной густоты готовились образцы-кубики размерами 2x2x2 см, которые хранились в воде в течение 28 суток.

Оптимизация состава комплексных добавок производилась с использованием трехфакторного плана второго порядка на гиперкубе, близкий к Д-оптимальному с шестью точками в центре плана. В результате чего, были получены зависимости в виде полинома второй степени.

Полученные экспериментальные данные физико-механических характеристик образцов цементного камня, растворов и бетонов, обрабатывались с помощью методов статистической обработки с вычислением среднеарифметических значений результатов испытаний (M), среднеквадратичного отклонения (σ), коэффициента вариации (V) и определением количества образцов (n), необходимых для получения результатов с заданной степенью точности (P). Коэффициент вариации составил не более 5 %. Достоверность полученных результатов эксперимента обеспечивалась изготовлением минимального количества образцов в каждой серии испытаний, и было принято согласно ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 310.1-76 не менее трех – при изучении свойств бетона, и шести при испытании раствора и цементного камня.

Термический анализ образцов цементного камня проводился методом совмещенной термогравиметрии (ТГ) и сканирующей дифференциальной калориметрии (ДСК) с использованием термоанализатора Netzsch STA 449 F3 Jupiter при непрерывном нагреве (от 40 до 1000 °С) образцов массой около 35-40 мг со скоростью 10 °С/мин в потоке (50 мл/мин) воздуха в тиглях из алунда с масс-спектрометрическим контролем газовой фазы.

Результаты и обсуждение

Комплексная добавка вводилась в количестве 20 % от массы портландцемента.

Дифференциально-сканирующая калориметрия некоторых образцов искусственных смесей. На рис. 1 представлена дериватограмма искусственной смеси полиминеральной глины и известняка. Эндозффект при 90,1 °С соответствует удалению адсорбционной воды, при 147,3 °С выражает потерю адсорбционной воды из монтмориллонита глины [10]. Нечеткий экзотермический эффект при 337,7 °С связан с наличием органических примесей в полиминеральной глине [10]. Эндозффект при 498,9 °С соответствует разрушению бруситового слоя хлорита глины [10], а второй при 577,0 °С связан с дегидратацией монтмориллонита глины [10]. При 740,5 °С наблюдается глубокий эндотермический эффект, связанный с разложением кальцита, стоит отметить, что диссоциация карбоната кальция происходит раньше. Потеря массы составляет 6,06%. Такое смещение связано с содержащимися в полиминеральной глине щелочными оксидами, выполняющими роль минерализаторов при термоактивации [11].

В области температур 925-975 °С на рис. 1 расположен слабовыраженный экзотермический эффект, который соответствует образованию шпинели [10], а также возможно образование C_3A и $C_{12}A_7$ [10].

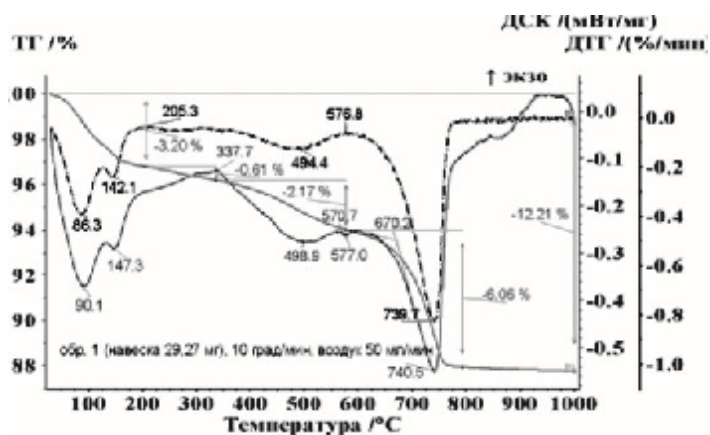


Рис. 1. Дериватограмма смеси полиминеральной глины и известняка

Оптимизация составов комплексных добавок и параметров термоактивации искусственных смесей. Для определения оптимальных параметров обжига смесей полиминеральных глин с известняком была проведена оптимизация состава с помощью метода математического планирования эксперимента (табл. 3-5).

Таблица 3

Факторы оптимизации и уровни их варьирования смесей

| Факторы | Наименование фактора | Уровни варьирования | | |
|----------------|-----------------------------------|---------------------|-----|-----|
| | | -1 | 0 | 1 |
| X ₁ | Содержание известняка в смеси (%) | 15 | 25 | 35 |
| X ₂ | Температура обжига (°C) | 500 | 650 | 800 |
| X ₃ | Время обжига (час) | 2 | 3 | 4 |

Таблица 4

Матрица планирования эксперимента

| № п/п | В кодированных значениях | | | В натуральных значениях | | |
|-------|--------------------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|
| | x ₁ | x ₂ | x ₃ | X ₁ | X ₂ | X ₃ |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 15 | 500 | 2 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | 35 | 500 | 2 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 15 | 800 | 2 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 35 | 800 | 2 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 15 | 500 | 4 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | 35 | 500 | 4 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | 15 | 800 | 4 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 35 | 800 | 4 |
| 9 | -1,68 | 0 | 0 | 8,2 | 650 | 3 |
| 10 | 1,68 | 0 | 0 | 41,8 | 650 | 3 |
| 11 | 0 | -1,68 | 0 | 25 | 398 | 3 |
| 12 | 0 | 1,68 | 0 | 25 | 902 | 3 |
| 13 | 0 | 0 | -1,68 | 25 | 650 | 1,32 |
| 14 | 0 | 0 | 1,68 | 25 | 650 | 4,68 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 25 | 650 | 3 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 25 | 650 | 3 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 25 | 650 | 3 |

Таблица 5

**Результаты экспериментальных данных композиционного цементного камня
с полученными комплексными добавками**

| № п/п | Параметры оптимизации комплексных добавок (КД): | | | | | | | |
|-------|---|------------|-------------|------|-------------------------|------------|-------------|------|
| | Полиминеральная глина (ПГ) | | | | Каолинитовая глина (КГ) | | | |
| | $R_{сж7}$ | $R_{сж28}$ | $\rho_{ср}$ | w | $R_{сж7}$ | $R_{сж28}$ | $\rho_{ср}$ | w |
| 1 | 37,8 | 55,6 | 2141 | 5,22 | 55,7 | 77,37 | 2099 | 5,27 |
| 2 | 55,7 | 81,9 | 2079 | 5,03 | 49,1 | 68,2 | 1930 | 4,9 |
| 3 | 60,1 | 88,4 | 2146 | 4,89 | 55,7 | 77,3 | 2073 | 4,74 |
| 4 | 57,2 | 84,1 | 2112 | 4,75 | 49,8 | 69,2 | 1980 | 4,92 |
| 5 | 45,9 | 67,5 | 2035 | 5,69 | 44,3 | 61,5 | 2046 | 5,58 |
| 6 | 59,8 | 87,9 | 2156 | 5,31 | 49,8 | 69,2 | 1988 | 5,41 |
| 7 | 48,7 | 71,6 | 1996 | 5,36 | 54,1 | 75,1 | 2126 | 5,58 |
| 8 | 38,3 | 56,3 | 1992 | 5,12 | 60,7 | 84,3 | 2044 | 5,39 |
| 9 | 46,3 | 68,1 | 2021 | 5,31 | 61,6 | 85,6 | 1915 | 5,07 |
| 10 | 53,4 | 78,6 | 2116 | 4,61 | 58,0 | 80,6 | 1923 | 4,07 |
| 11 | 50,2 | 73,8 | 2078 | 5,5 | 49,8 | 69,2 | 2112 | 4,82 |
| 12 | 53,4 | 78,6 | 2096 | 4,68 | 54,6 | 75,8 | 2044 | 5,59 |
| 13 | 54,5 | 80,2 | 2023 | 4,83 | 50,2 | 69,7 | 2049 | 4,57 |
| 14 | 44,9 | 66 | 2068 | 4,98 | 46,2 | 64,1 | 2079 | 4,74 |
| 15 | 62,6 | 92,1 | 2113 | 4,7 | 57,8 | 80,3 | 1977 | 4,7 |
| 16 | 62,7 | 92,2 | 2090 | 4,5 | 56,1 | 77,9 | 2027 | 4,5 |
| 17 | 59,8 | 87,9 | 2135 | 4,2 | 57,0 | 79,1 | 2043 | 4,5 |

В качестве факторов оптимизации были выбраны: предел прочности на сжатие в возрасте 7 и 28 суток нормального хранения, $R_{сж7}$ и $R_{сж28}$, МПа; средняя плотность цементного камня в возрасте 28 суток, $\rho_{ср}$, кг/м³, водопоглощение по массе в возрасте 28 суток, w , %. Уровни их варьирования, матрица математического планирования и полученные результаты приведены в табл. 3-5. В результате обработки экспериментальных данных получены адекватные уравнения регрессии в виде полинома второй степени. Адекватность полученных уравнений регрессий ($F_{рас}$) оценивалась сравнением с табличным значением критерия Фишера, равным 5,05 (табл. 6). По полученным уравнениям регрессии были построены поверхности отклика, оптимальные параметры термоактивации глин представлены на рис. 2.

Таблица 6

Уравнения регрессии функции отклика

| Уравнения регрессии функции отклика | | $F_{рас}$ |
|-------------------------------------|--|-------------|
| КГ+КИ | | |
| $R_{сж7}$ | $R_{сж7} = -239,2 + 3,53X_1 + 0,5X_2 + 56,7X_3 - 0,02X_1^2 - 5,46X_3^2 - 0,002 \cdot X_2 - 0,03X_1 \cdot X_3 - 0,03X_2 \cdot X_3$ | 4,63 |
| $R_{сж28}$ | $R_{сж28} = -351,7 + 5,19X_1 + 0,7X_2 + 83,3X_3 - 0,04X_1^2 - 8,03X_3^2 - 0,13X_1 \cdot X_3 - 0,05X_2 \cdot X_3$ | 4,51 |
| $\rho_{ср}$ | $\rho_{ср} = -4,01 + 14,5X_1 + 3,81X_2 + 454,2X_3 - 0,25X_1^2 - 0,002X_2^2 - 64,5X_3^2 - 0,005X_1 \cdot X_2 + 1,69X_1 \cdot X_3 - 0,19X_2 \cdot X_3$ | 3,79 |
| w | $w = 9,39 - 0,03X_1 - 0,01X_2 - 0,26X_3 + 0,0004X_1^2 + 0,07X_3^2 - 0,002X_1 \cdot X_3$ | 3,29 |
| ПГ+КИ | | |
| $R_{сж7}$ | $R_{сж7} = -81,9 + 1,008X_1 + 0,3X_2 + 17,8X_3 - 0,01X_1^2 - 2,02X_3^2 - 0,002X_2^2 - 0,30X_1 \cdot X_3 - 0,001X_2 \cdot X_3$ | 2,41 |
| $R_{сж28}$ | $R_{сж28} = -117,0 + 1,44X_1 + 0,44X_2 + 25,3X_3 - 0,01X_1^2 - 2,87X_3^2 + 0,20X_1 \cdot X_2 - 0,43X_1 \cdot X_3 - 0,001X_2 \cdot X_3$ | 2,44 |
| $\rho_{ср}$ | $\rho_{ср} = 791,5 + 18,7X_1 + 2,26X_2 + 199,1X_3 - 0,42X_1^2 - 0,001X_2^2 - 46,3X_3^2 + 0,003X_1 \cdot X_2 + 0,97X_1 \cdot X_3 + 0,09X_2 \cdot X_3$ | 3,97 |
| w | $w = 10,39 - 0,03X_1 - 0,01X_2 - 0,23X_3 + 0,03X_3^2 - 0,001X_1 \cdot X_3$ | 2,40 |

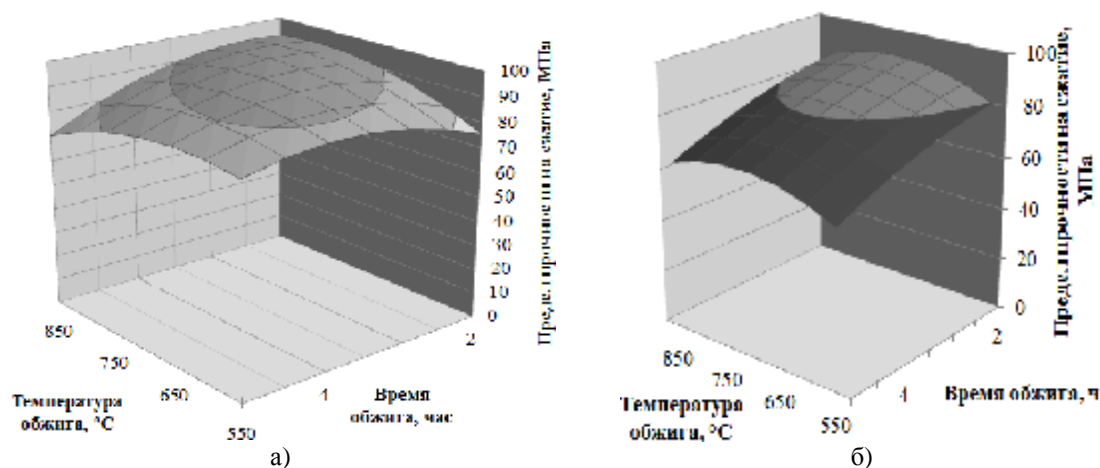


Рис. 2. График зависимости предела прочности на сжатие после пропарки композиционного цементного камня, МПа, от параметров обжига для комплексных добавок при постоянном содержании известняка: а) 30 % известняка с полиминеральной глиной; б) 40 % известняка с каолиновой глиной

Как видно из рис. 2 прочность композиционного цементного камня с 20 % добавок термоактивированных смесей составляет 90-95 % от прочности бездобавочного контрольного состава.

На основании полученных результатов оптимальной температурой термоактивации смесей глин с известняком является 750 °С, что обусловлено полной диссоциацией карбонатной породы в термоактивированной смеси. При этом оптимальным содержанием известняка в смеси с полиминеральной глиной является 30 %, в то время как, для смеси с каолиновой глиной 40 %. Увеличение содержания известняка в смесях с каолиновой глиной обусловлено повышенным содержанием в последней активного глинозема и кремнезема, способного вступать в химическое взаимодействие при обжиге с карбонатом кальция известняка.

Оптимальный период термоактивации смесей с полиминеральной глиной выше, что обусловлено особенностями ее минерального состава.

Заключение

1. Установлено, что параметры термоактивации и составы комплексных добавок зависят от химико-минералогического состава исходных компонентов, особенно от содержания каолинита и щелочей в глине, кальцита и глинистой примеси в известняке.

2. Получены оптимальные параметры термоактивации и составы искусственных смесей на основе полиминеральной и каолиновой глины и известняка с содержанием кальцита 87 %, которые составили для смеси каолиновой глины и известняка 725 °С в течение 2 часов, для смеси полиминеральной глины и известняка – 750 °С в течение 2,7 часов.

3. Установлено, что при введении 20 % комплексных добавок на основе термоактивированных искусственных смесей глин и известняка позволяет получать прочность равную 90-95 % от прочности бездобавочного образца.

Список библиографических ссылок

1. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R. D. Supplementary cementitious materials // Cement and Concrete Research. 2011. № 41. P. 1244–1256.
2. Ludwig H.-M. CO₂-arme Zemente für nachhaltige Betone: Ibausil / Weimar. Deutschland, 2015. Band 2. P. 7–32.
3. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего и будущего // Строительные материалы. 2013. № 5. С. 57–59.
4. Ветрувий М. Десять книг об архитектуре. М. : Архитектура, 2006. 326 с.

5. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества. Технология и свойства. М. : ЭКОЛИТ, 2011. 480 с.
6. Thomas M. D. A., Hopkins D. S., Perreault M., Cail K. Ternary cement in Canada // *Concr. Int.* 2007. № 29 (7). P. 59–64.
7. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone // *Cement and Concrete Research*. 2012. Vol. 42. P. 1579–1589.
8. *Proceedings: Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement, Beijing, China, 2015. Vol. I. 704 p.*
9. Макарова И. А., Лохова Н. А. Физико-химические методы исследования строительных материалов: учебное пособие. Братск : Издательство Братского государственного университета, 2011. 139 с.
10. Ермилова Е. Ю., Камалова З. А., Рахимов Р. З., Стоянов О. В., Хантимиров А. Г., Габбасов Д. А., Ахтариёв Р. Р. Исследование влияния скорости подъема температуры при термоактивации глин на их пуццолановую активность // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2017. № 4. С. 25–27.
11. *Proceedings: NTCC 2014: International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete, Brno, Czech Republic, 2014.*

Ermilova E.Yu. – post-graduate student

E-mail: lizabeta_91@list.ru

Kamalova Z.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: zlesik@mail.ru

Rakhimov R.Z. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: rahimov@kgasu.ru

Mustafina A.R. – student

E-mail: kapriz06_07@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The research the influence of thermoactivated mixtures on the properties of blended cement

Abstract

Problem statement. The aim of the research is the development of complex additives based on the thermoactivated synthetic mixtures of clay and limestone with calcite content of 87 %, optimization of the composition and thermal activation parameters, and the study of the influence of the received complex additives on the properties of blended cement stone.

Results. The main results are that the developed compositions of complex additives based on the thermoactivated mixtures of clay and limestone. The physico-mechanical, physical properties of the obtained mixtures and their influence on properties of blended cement are investigated.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry lies in the fact that the results of the experiments allowed to establish the possibility of replacing up to 20 % of Portland cement with a complex additive of thermoactivated mixtures of clay and limestone without loss of strength of the obtained blended cement stone. The strength of the blended cement stone at the age of 28 days amounted to 90-95 % of strength of control cement sample.

Keywords: blended cement, polymineral clay, limestone, kaolinitic clay, cement stone.

References

1. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R. D. Supplementary cementitious materials // *Cement and Concrete Research*. 2011. № 41. P. 1244–1256.
2. Ludwig H.-M. CO₂-arme Zemente für nachhaltige Betone: Ibausil / Weimar. Deutschland, 2015. Band 2. P. 7–32.

3. Rakhimov R. Z. Rakhimova, N. R. Construction and mineral binders of the past, present and future // *Stroitelnye materialy*. 2013. № 5. P. 57–59.
4. Vetrovi M. *The ten books on architecture*. M. : Architecture, 2006. 326 p.
5. Volzhensky A. V. *Mineral binders. Technology and properties*. M.: EKOLIT, 2011. 480с.
6. Thomas M. D. A., Hopkins D. S., Perreault M., Cail K. Ternary cement in Canada // *Concr. Int.* 2007. № 29 (7). P. 59–64.
7. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone // *Cement and Concrete Research*. 2012. Vol. 42. P. 1579–1589.
8. *Proceedings: Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement, Beijing, China, 2015*. Vol. I. 704 p.
9. Makarova I. A., Lokhova N. *Physico-chemical methods for research of construction materials: training manual*. Bratsk : Publisher Bratsk state University, 2011. 139 p.
10. Ermilova E. Yu., Kamalova Z. A., Rakhimov R. Z., Stoyanov O. V., Khantemirov A. G., Gabbasov D. A., Akhtareev R. R. The study of the influence of rate of temperature rise when the calcination of the clays on their pozzolanic activity // *Remont. Vosstanovlenie. Stoitelstvo*. 2017. № 4. P. 25–27.
11. *Proceedings: NTCC 2014: International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete, Brno, Czech Republic, 2014*.

УДК 666.942

Рахимов Р.З. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Rahimov@kgasu.ru

Рахимова Н.Р. – доктор технических наук, профессор

E-mail: rahimova.07@list.ru

Гайфуллин А.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: 447044@list.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Морозов В.П. – доктор геолого-минералогических наук, профессор

E-mail: Vladimir.Morozov@kpfu.ru

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Адрес организации: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Влияние добавок термоактивированного мергеля на свойства цементного камня

Аннотация

Постановка задачи. Возрастающие объемы мирового производства портландцемента и требования по сокращению при этом эмиссии CO₂ привели к необходимости увеличения объемов минеральных добавок к нему. Наиболее перспективной сырьевой базой для расширения производства минеральных добавок являются повсеместно распространенные и неограниченные по запасам полиминеральные глины, в частности – мергели.

Результаты. Задачей настоящей работы явилось исследование эффективности добавок в портландцемент мергеля, термоактивированного при различных температурах и молотого до различной удельной поверхности. Результаты исследований позволили установить влияние добавок в портландцемент прокаленного и молотого мергеля на нормальную плотность, прочность, водопоглощение и коэффициента размягчения цементного камня. Установлено, что добавки в портландцемент 10-20 % прокаленного при определенных температурах и молотого до определенных удельных поверхностей мергеля приводят к более высокой до 20-50 % прочности при сжатии цементного камня, чем аналогичные добавки метаксаолина.

Выводы. Научная и практическая значимость результатов работы для строительного материаловедения и строительной отрасли заключается в установлении эффективности замены дефицитных минеральных добавок в портландцемент добавками на основе недефицитного мергеля.

Ключевые слова: цемент, минеральная добавка, метаксаолин, температура прокаливания, удельная поверхность, минеральный состав, средняя плотность, прочность при сжатии, водопоглощение, коэффициент размягчения.

Введение

Одним из направлений решения проблемы высокой эмиссии CO₂ в окружающую среду при производстве портландцемента является уменьшение содержания в нем клинкерной части за счет введения минеральной добавки [1].

В настоящее время известен широкий перечень применяемых для этого разновидностей минеральных добавок. Наиболее известные из них – доменный шлак и зола доступны не во всех странах и регионах, поэтому большее применение минеральных добавок может быть достигнуто за счет использования натуральных пуццоланов и активированных глин – глинистов [2]. Глины – повсеместно распространенное, доступное и дешевое сырье для получения пуццоланов. Термически активированные глины классифицируются как искусственные пуццоланы европейским стандартом EN 197-1-2000. В последние десятилетия определенное применение в качестве эффективной минеральной добавки для повышения физико-технических свойств цементных

композиций получила одна из разновидностей глинистых – метакраулин (МК) [3, 6], который получают термической активацией краулиновых глини. Однако краулиновые глины являются сырьем или сырьевым компонентом, применяемым во многих отраслях промышленности, отличаются ограниченным числом месторождений и запасов и высокой стоимостью, что в совокупности препятствует широкому распространению производства и применения МК.

В связи с этим в последние десятилетия возобновились исследования пуццоланической активности и эффективности применения в качестве добавок в вяжущие глинистых на основе распространенных повсеместно полиминеральных глини с различным содержанием краулинита и вообще не содержащих его [3, 7-8]. В начале 40-х годов прошлого века подобные систематические исследования пуццоланической активности распространенных глини были проведены в СССР, в результате которых было установлено, что из 207 глини различных месторождений только 11 % оказались непригодными для получения продукта с достаточной пуццоланической активностью. При этом из 12-ти прокаленных глини с наиболее высокой пуццоланической активностью 9 были мергелистые и лишь 3 – высококраулиновые. Проведенные ранее исследования выявили проявление более высокой пуццоланической активности, чем у МК, у прокаленных при определенных температурах и молотых до определенной дисперсности полиминеральных глини с различным содержанием краулинита и вообще не содержащих его [8-11]. Достаточно широкое распространение получило применение при производстве композиционных цементов тонкодисперсных карбонатных добавок, влияние которых на свойства порландцемента исследовалось систематически в СССР и других странах [12-13]. В ряде стран – Дании, Норвегии, Канаде, США, Франции и других накоплен достаточный для применения цементов с карбонатными микрозаполнителями. Во Франции более 30 % объема производства приходится на долю цементов, содержащих карбонатную добавку в количестве 5-25 %. Отмечается положительное влияние их на свойства порландцемента, характеризующееся, однако разноречивыми данными об уровне эффективности [12-14]. В отдельных работах указывается, что оптимальным содержанием известняка являются 25-30 % без снижения марки [12], в других отмечается, что благоприятнее воздействие добавки известняка проявляется при введении его 5-15 % от массы вяжущего [13-14]. Эффективным является введение добавок известняка и при получении шлакощелочных вяжущих [16-17]. Выявлена эффективность введения добавок в цемент и тонкодисперсного доломита [18-19].

Введение в порландцемент одновременно добавок карбонатных и прокаленных глинистых материалов приводит к более высокому повышению его физико-технических свойств [20-26]. Это объясняется, в частности, синергетическим эффектом взаимодействия между метакраулином и известняком [20, 21, 23]. Этот эффект совместного синергетического влияния добавок кальцита и прокаленных глинистых минералов проявляется и при введении в порландцемент добавок прокаленного мергеля [27-28].

Эффективность добавок прокаленного мергеля в цемент в значительной мере зависит от соотношения содержания в мергеле кальцита и глинистых минералов.

В настоящей работе приведены результаты исследований влияния добавок в порландцемент прокаленного мергеля с высоким соотношением кальцит/глинистые минералы на свойства цементного камня в сравнении со свойствами его на бездобавочном цементе и с добавками метакраулина.

Материалы для исследований

а) Для получения глинистых использован мергель, следующего минерального состава, в % по массе (рис. 1): краулинит – 7,12; монтмориллонит – 12,40; хлорит – 4,00; кальцит – 46,90; кварц – 13,44; альбит – 7,83; слюда – 6,90; гипс – 1,40. Содержание кальцита в 2 раза превышает содержание глинистых минералов.

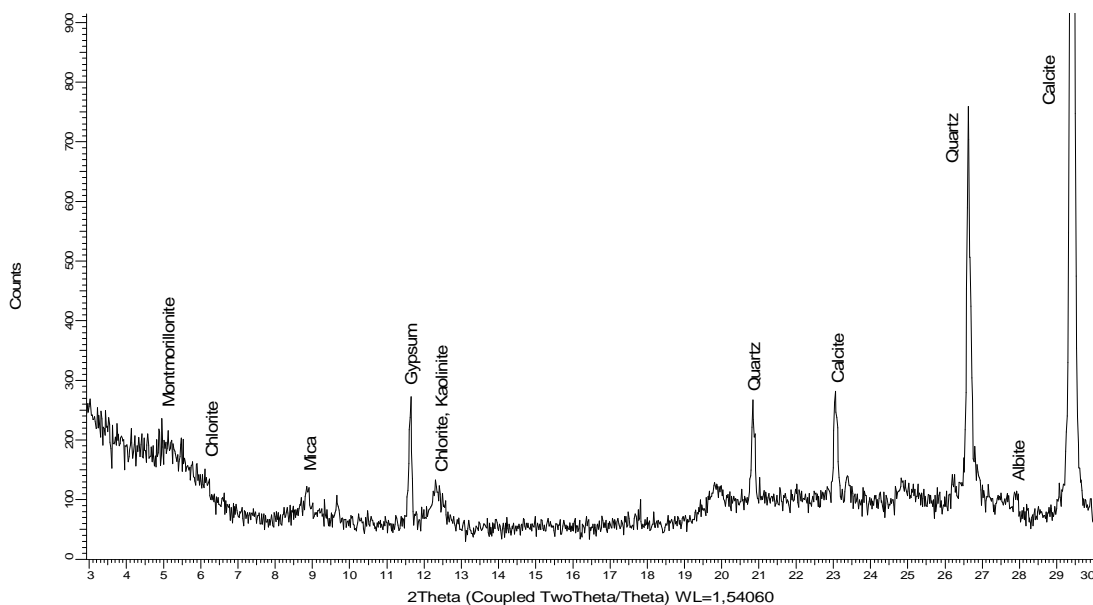


Рис. 1. Рентгенограмма и минеральный состав мергеля: альбит (albite) – 7,83 %; хлорит (chlorite) – 4,0 %; каолинит (kaolinite) – 7,12 %; монтмориллонит (montmorillonite) – 12,4 %; кальцит (calcite) – 46,9 %; кварц (quartz) – 13,44 %; mica (слада) – 6,9 %; гипс (gypsum) – 1,40%

б) Для исследования влияния добавок на свойства цементного камня использовался портландцемент ПЦ500Д-О-Н. Химический состав цемента, масс %: CaO – 63,0; SiO₂ – 20,5; Al₂O₃ – 4,5; SO₃ – 3,0. Минеральный состав цемента, масс %: C₃S – 67,0; C₂S – 11,0; C₃A – 4,0; C₃AF – 15,0. Показатели портландцемента: удельная поверхность – 345 м²/кг, насыпная плотность – 1300 кг/м³, нормальная густота – 27 %, начало схватывания 2 часа 50 мин., конец схватывания 4 часа 10 мин.

На рис. 2 приведен минеральный состав портландцементного камня без добавок.

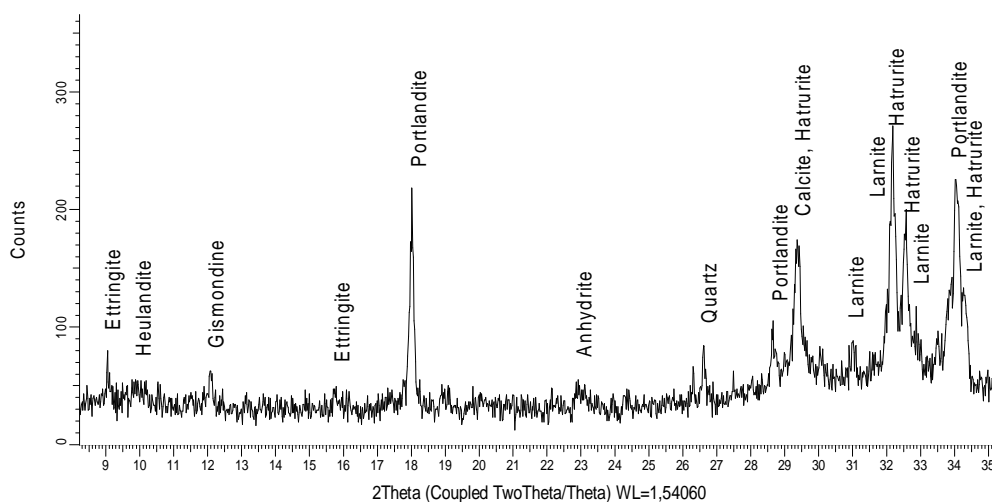


Рис. 2. Рентгенограмма и минеральный состав цементного камня без добавок, в %: этtringит (ettringite) – 3,74; гейландит (heulandite) – 8,98; жесмондин (gismondine) – 11,70; портландит (portlandite) – 10,77; хатрурит (hatrurite) – 24,54; кварц (quartz) – 2,61; ларнит (larnite) – 29,60; гипс (gypsum) – 1,94; кальцит (calcite) – 4,96; ангидрит (anhydrite) – 1,16

Результаты исследований влияния добавок глинистых на свойства цементного камня приведены в сравнении со свойствами его бездобавочном портландцементе и с добавками метаксаолина.

в) Характеристики МК: насыпная плотность в рыхлом состоянии – 170-200 кг/м³, массовая доля SiO₂ – 54,1 %; Al₂O₃ – 45,9 %, пуццоланическая активность > 1000 мг Са(ОН)₂/г. Удельная поверхность 1200 м²/кг.

Методы исследований

Прокаливание мергеля производилось в лабораторной печи «Snol 1300» в стационарном режиме массой по 1000 грамм при 400, 600 и 800 °С со скоростью подогрева 3 °С /мин и изотермической выдержкой при максимальной температуре в течении 3 часов. Исходный мергель имел следующий гранулометрический состав, частиц по массе: глинистых ($\leq 0,005$ мм) – 40,2 %; пылевидных (0,005-0,05 мм) – 43,8 %; песчаных (0,05-1,00 мм) – 14,0 %. Прокаленные мергели подвергались помолу в лабораторной планетарной мельнице до удельной поверхности 250, 500 и 800 м²/кг.

Удельная поверхность молотого после прокаливания мергеля определялась с использованием прибора ПСХ-9.

Рентгенофазовый анализ мергеля и цементного камня выполнен на дифрактометре D2 Phaser фирмы Bruker. Режимы измерений и регистрации: напряжение рентгеновской трубки – 30 kV, ток 30 mA. Шаг сканирования – 0,02°. Скорость – 1 град./мин. Диапазон углов сканирования в геометрии Брега-Брентано – 3-40°.

Расшифровка дифрактограмм производилась обработкой в программах DIFFRACplus Evaluation Package – EVA Search/Match по компьютерной базе данных международной картотеки порошковых рентгенографических снимков PDF-2 ICDD.

Показатели свойств бездобавочных и с добавками цементного теста и камня определялась по результатам приготовления цементных тест нормальной густоты и испытания изготовленных из них образцов цементного камня с размерами 20×20×20 мм.

Нормальная густота цементного теста определялась по ГОСТ 310.3-76.

Образцы цементного камня подвергались тепловлажностной обработке 4+6+3 часа с изотермической выдержкой при 85 °С.

Определение предела прочности образцов цементного камня производилось на прессе ПСУ-10 при скорости нагружения 0,1 МПа/с.

Предел прочности определялся по ГОСТ 10180-2012, коэффициент размягчения – по ГОСТ 23688-79, водопоглощение – по ГОСТ 12730.3-78.

Полученные экспериментальные данные физико-технических характеристик образцов цементного камня обрабатывались с помощью методов статистической обработки с вычислением среднеарифметических значений результатов испытаний, среднеквадратичного отклонения, коэффициента вариации и определением количества образцов необходимых для получения результатов с заданной степенью точности. Коэффициент вариации составил не более 5 %. Достоверность полученных результатов эксперимента обеспечивалась изготовлением минимального количества образцов в каждой серии испытаний, и было принято по ГОСТ 10180-2012 и ГОСТ 310.1-76 не менее шести при испытании свойств цементного камня.

Результаты исследований и их обсуждение

Показатели физико-технических свойств цементного камня с добавками глинистых в сравнении с соответствующими показателями свойств бездобавочного цементного камня

В табл. 1 приведены результаты исследований изменения нормальной густоты вяжущего и средней плотности, предела прочности при сжатии, водопоглощения, коэффициента размягчения цементного камня с добавками термоактивированного при различных температурах и молотых до различной удельной поверхности мергеля. Бездобавочный цемент имел нормальную густоту – 27 %, а цементный камень на его основе имел следующие показатели свойств: средняя плотность – 2270 кг/м³; предел прочности при сжатии 57,3 МПа; водопоглощение – 1,0 %; коэффициент размягчения – 0,92.

В табл. 1 показатели свойств цементного камня с добавками 5, 10, 15 и 20 % глинистых на основе мергеля, прокаленной при температурах 400, 600 и 800 °С и молотой до удельной поверхности 250, 500 и 800 м²/кг, приведены в сравнении с показателями свойств бездобавочного цементного камня.

В табл. 1 в графах 4 и 5 средняя плотность и предел прочности при сжатии цементного камня на основе цемента с добавками глинистых приведены в натуральном выражении (числитель) и в процентах изменения относительно этих показателей бездобавочного цементного камня (знаменатель). Показатели свойств цементного камня с добавками глинистых, которые превышают аналогичные показатели свойств бездобавочного цементного камня в таблице выделены жирным шрифтом.

Таблица 1

**Показатели свойств цемента и цементного камня с добавками глиниста на основе мергеля
в зависимости от температуры ее прокаливания и тонкости помола**

| Температура прокаливания добавки, °С | Удельная поверхность добавки, м ² /кг | Показатели свойств | | | | |
|--------------------------------------|--|--------------------|--|------------------------------------|-------------------|-------------------------|
| | | Нормальная густота | Средняя плотность кг/м ³ /% | Предел прочности при сжатии, МПа/% | Водопоглощение, % | Коэффициент размягчения |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| I с добавкой 5 % | | | | | | |
| 400 | 250 | 27,3 | 2233/+1,6 | 48,5/-15 | 1,70 | 0,930 |
| | 500 | 27,7 | 2356/3,8 | 67,5/18 | 0,90 | 0,965 |
| | 800 | 28,1 | 2328/2,5 | 62,5/9 | 1,10 | 0,935 |
| 600 | 250 | 27,6 | 2325/2,4 | 57,5/03 | 1,05 | 0,940 |
| | 500 | 28,0 | 2281/0,5 | 50,0/-13 | 2,50 | 0,935 |
| | 800 | 28,3 | 2300/1,3 | 53,5/-7 | 1,10 | 0,935 |
| 800 | 250 | 27,9 | 2265/-0,2 | 70,0/22 | 2,00 | 0,940 |
| | 500 | 28,3 | 2255/-0,7 | 67,2/17 | 1,80 | 0,935 |
| | 800 | 28,7 | 2241/-1,3 | 66,7/16 | 1,75 | 0,925 |
| II с добавкой 10 % | | | | | | |
| 400 | 250 | 28,2 | 2251/-0,8 | 47,6/-17 | 1,60 | 0,935 |
| | 500 | 28,6 | 2263/-0,3 | 67,0/17 | 0,85 | 0,960 |
| | 800 | 29,0 | 2341/3,1 | 63,5/11 | 1,10 | 0,945 |
| 600 | 250 | 28,5 | 2300/1,3 | 57,5/03 | 1,95 | 0,940 |
| | 500 | 28,9 | 2252/-0,8 | 47,2/-18 | 3,00 | 0,915 |
| | 800 | 29,3 | 2275/0,2 | 54,5/-5 | 1,15 | 0,930 |
| 800 | 250 | 29,1 | 2275/0,2 | 75,9/32 | 1,70 | 0,960 |
| | 500 | 29,3 | 2255/-0,7 | 61,1/7 | 1,95 | 0,930 |
| | 800 | 29,6 | 2232/-1,7 | 54,0/-6 | 2,20 | 0,920 |
| III с добавкой 15 % | | | | | | |
| 400 | 250 | 28,4 | 2272/0,0 | 45,2/-21 | 2, 0 | 0,935 |
| | 500 | 29,0 | 2263/-0,3 | 63,2/10 | 0,88 | 0,950 |
| | 800 | 29,6 | 2318/2,1 | 60,0/5 | 1,10 | 0,945 |
| 600 | 250 | 29,0 | 2265/-0,2 | 46,1/-20 | 1,35 | 0,925 |
| | 500 | 29,6 | 2222/-2,1 | 42,5/-26 | 2,50 | 0,910 |
| | 800 | 30,0 | 2242/1,2 | 55,0/-4 | 1,25 | 0,935 |
| 800 | 250 | 29,4 | 2300/1,3 | 78,5/37 | 0,90 | 0,980 |
| | 500 | 29,9 | 2045/-9,9 | 55,5/-3 | 1,70 | 0,920 |
| | 800 | 30,4 | 2228/-1,8 | 44,5/-22 | 2,50 | 0,915 |
| IV с добавкой 20 % | | | | | | |
| 400 | 250 | 29,0 | 2282/0,5 | 43,3/-24 | 2,20 | 0,915 |
| | 500 | 29,5 | 2356/3,8 | 55,5/-4 | 0,70 | 0,935 |
| | 800 | 30,4 | 2300/1,7 | 49,1/-14 | 1,00 | 0,920 |
| 600 | 250 | 29,6 | 2233/-1,6 | 42,5/-26 | 2,00 | 0,920 |
| | 500 | 30,0 | 2175/-4,1 | 40,0/-30 | 2,10 | 0,910 |
| | 800 | 30,5 | 2191/-3,4 | 49,1/-14 | 1,34 | 0,915 |
| 800 | 250 | 30,0 | 2275/0,2 | 64,2/12 | 1,60 | 0,950 |
| | 500 | 30,5 | 2241/-1,2 | 52,5/-8 | 1,90 | 0,920 |
| | 800 | 31,0 | 2238/-1,2 | 40,0/-30 | 2,10 | 0,910 |

Анализ данных исследований, приведенных в табл. 1, приводит к следующим заключениям.

Нормальная густота портландцемента прямо пропорционально возрастает с 27 до 27,4-31,2 % с повышением содержания добавок глинистых с 5 до 20 %, температуры их прокаливания с 400 до 800 °С и тонкости помола 250-800 м²/кг.

Из 36 разновидностей цементного камня с различным содержанием глинистых полученных прокаливанием глины при различных температурах и помолом до различной удельной поверхности имеют по сравнению с бездобавочным цементным камнем: повышенные среднюю плотность и предел прочности при сжатии – 36 %, коэффициент размягчения 69,4 %; пониженное водопоглощение 11,1 %.

Наибольшее повышение средней плотности (на 3,8 %) и пониженное водопоглощение по сравнению с бездобавочным имеют цементные камни с добавками 5 и 20 % глинистого, полученного прокаливанием мергеля при 400 °С и помолом до 500 м²/кг.

Пониженное водопоглощение и наиболее высокий коэффициент размягчения по сравнению с бездобавочным цементным камнем имеют цементные камни преимущественно с добавками 5-20 % глинистых, полученных прокаливанием при 400 °С и молотой до 500 м²/кг мергеля.

Наиболее высокие показатели прочности при сжатии на 32 и 37 % выше прочности бездобавочного цементного камня имели цементные камни с добавками, соответственно, 10 и 15 % глинистых, прокаленных при 800 °С и молотых до 250 м²/кг. Они же имели наиболее высокие коэффициенты размягчения – соответственно 0,96 и 0,98.

Показатели свойств цементного камня с добавками глинистых в сравнении с показателями свойств цементного камня с соответствующими добавками метаксаолина

В табл. 2 приведены результаты исследований влияния добавок МК в портландцемент на свойства цементного камня.

Таблица 2

Свойства цементного камня с добавками метаксаолина

| Содержание добавки | Показатели свойств | | | |
|--------------------|---|----------------------------------|------------------|-------------------------|
| | Средняя плотность, кг/м ³ /% | Предел прочности при сжатии, Мпа | Водопоглощение % | Коэффициент размягчения |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 | 2270 | 57,3 | 1,00 | 0,920 |
| 5 | 2298 | 74,0 | 1,70 | 0,925 |
| 10 | 2254 | 62,9 | 1,80 | 0,960 |
| 15 | 2222 | 52,3 | 1,95 | 0,930 |
| 20 | 2221 | 50,7 | 3,00 | 0,920 |

Анализ данных, приведенных в табл. 2 показывает, что принятая при исследованиях разновидность МК приводит к повышению предела прочности при сжатии цементного камня при его добавки в цемент 5 % на 29,3 %, при содержании ее 10 % на 9,9 %. При дальнейшем увеличении добавки МК прочность при сжатии цементного камня снижается.

При введении добавок МК от 5 до 20 % водопоглощение цементного камня повышается, коэффициент размягчения его понижается с увеличением содержания добавки от 15 до 20 %, но его показатели при этом, однако не ниже, чем у бездобавочного цементного камня.

В таблице 3 приведены данные по определению разницы в показателях свойств цементного камня с добавками глинистых и метаксаолина.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, позволяет сделать следующие заключения. В графах 4 и 5 отличия по уровню показателей средней плотности и предела прочности при сжатии цементных камней с добавками глинистых и с добавками МК приведены в натуральном выражении (числитель) и в процентах (знаменатель). Положительным показателем отличается превышение показателя свойства цементного камня добавкой с глинистым по сравнению с соответствующим показателем свойства цементного камня соответствующей добавкой МК.

Из 36 разновидностей цементного камня с различным содержанием глинистых, полученных прокаливанием мергеля при различных температурах и помолом до различной удельной поверхности имеют, по сравнению с цементным камнем с соответствующим содержанием МК: повышенные – среднюю плотность – 66,7 % , предел прочности при сжатии – 30,6 %, коэффициент размягчения – 41,7 %; пониженное водопоглощение – 63,9 %.

Таблица 3

**Отличие показателей свойств цементного камня с добавками глинистых
от показателей свойств его с добавками метаксаолина
в зависимости от температуры прокаливания и тонкости помола глиниста**

| Температура прокаливания °С | Удельная поверхность, м ² /кг | Показатели свойств | | | |
|-----------------------------|--|---|------------------------------------|-------------------|-------------------------|
| | | Средняя плотность, кг/м ³ /% | Предел прочности при сжатии, МПа/% | Водопоглощение, % | Коэффициент размягчения |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| I с добавкой 5 % | | | | | |
| 400 | 250 | -65/2,8 | -25,5/34 | - | +0,05 |
| | 500 | +58/2,5 | -6,5/9 | -0,80 | +0,40 |
| | 800 | +30/1,3 | -11,5/16 | -0,60 | +0,10 |
| 600 | 250 | +27/1,1 | -6,5/9 | +0,15 | +0,35 |
| | 500 | -17/0,7 | -24,0/33 | +0,80 | +0,50 |
| | 800 | +2/0,01 | -18,5/25 | -0,60 | +0,10 |
| 800 | 250 | -33/1,4 | -4,0/5 | +0,30 | +0,15 |
| | 500 | -43/1,9 | -6,8/9 | +0,10 | +0,10 |
| | 800 | -57/2,5 | -7,3/9 | +0,05 | +0,00 |
| II с добавкой 10 % | | | | | |
| 400 | 250 | +3/0,10 | -15,3/24 | -0,20 | -0,25 |
| | 500 | +9/0,40 | +4,1/6 | -0,95 | +0,00 |
| | 800 | +87/3,90 | +0,6/1 | -0,70 | -0,15 |
| 600 | 250 | +46/2,04 | -4,4/9 | +0,15 | -0,20 |
| | 500 | -2/0,09 | +14,7/25 | +1,20 | -0,45 |
| | 800 | +21/0,94 | -8,4/13 | -0,65 | -0,30 |
| 800 | 250 | +21/0,94 | +13,0/21 | +1,20 | +0,00 |
| | 500 | +1/0,04 | -1,8/2,9 | +0,15 | -0,30 |
| | 800 | -22/0,95 | +8,9/14 | -0,10 | -0,40 |
| III с добавкой 15 % | | | | | |
| 400 | 250 | +40/1,70 | -7,1/14 | +0,05 | +0,05 |
| | 500 | +31/1,38 | +10,9/21 | -1,09 | +0,25 |
| | 800 | +86/3,80 | +7,7/15 | -0,85 | +0,15 |
| 600 | 250 | +33/1,40 | -6,2/12 | -0,55 | +0,05 |
| | 500 | -10/0,50 | -9,8/19 | +0,55 | -0,20 |
| | 800 | +10/0,50 | +2,7/5 | -0,70 | -0,10 |
| 800 | 250 | +68/2,90 | +26,2/50 | +0,65 | +0,50 |
| | 500 | -1,87/8,40 | +3,2/6 | -0,05 | -0,10 |
| | 800 | -4/0,20 | +10/15 | -0,25 | -0,15 |
| IV с добавкой 20 % | | | | | |
| 400 | 250 | +61/2,70 | -7,4/15 | -0,20 | -0,15 |
| | 500 | +135/6,00 | +4,8/9 | -2,30 | +0,00 |
| | 800 | +79/3,60 | -1,6/3 | -2,00 | -0,15 |
| 600 | 250 | +11/0,50 | -8,5/16 | -1,66 | -0,15 |
| | 500 | -46/2,00 | -10,7/21 | -1,00 | -0,25 |
| | 800 | -30/1,30 | -1,6/3 | -0,90 | -0,20 |
| 800 | 250 | +54/2,40 | +13,5/27 | -0,90 | +0,25 |
| | 500 | +20/0,90 | +1,8/4 | -1,10 | -0,15 |
| | 800 | +17/0,80 | -10,7/21 | -1,40 | -0,25 |

Добавка в портландцемент 5 % МК по сравнению с соответствующей добавкой глинистых, независимо от температуры их прокаливания и тонкости помола в пределах 250-800 м²/кг, приводит к более высокому повышению прочности при сжатии, чем с добавками глинистых. Однако добавки 10-20 % отдельных глинистых, полученных при определенных температурах прокаливания и молотых до определенных дисперсностей приводят к более высокой прочности цементного камня, чем соответствующие добавки МК. Например, добавка 10 % глинистого прокаливания при 800 °С и с удельной поверхностью 250 м²/кг приводит к получению цементного камня с прочностью при сжатии на 21 % выше, чем такая добавка МК, а 15 % такой же добавки обеспечивают получение цементного камня с прочностью на 50 % выше, чем аналогичная добавка МК.

Преобразование минерального состава мергеля при прокаливании и влияние ее добавок глинистого на минеральный состав и свойства цементного камня

В табл. 1 и 3 показано, что наиболее высокие показатели свойств отличаются у цементного камня с добавками, прокаленного при 800 °С, мергеля.

На рис. 3 приведена рентгенограмма мергеля, прокаленного при 800 °С.

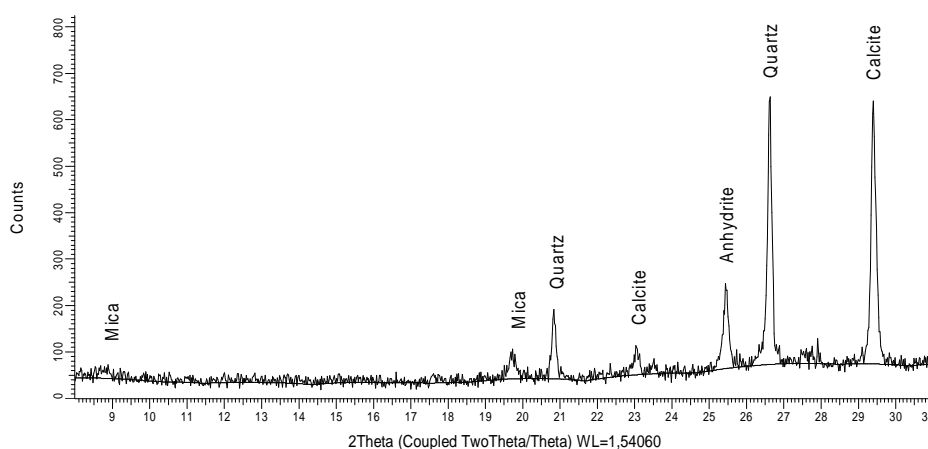


Рис. 3. Рентгенограмма и минеральный состав прокаленного при 800 °С мергеля

Сравнение минерального состава исходного (рис. 1) и прокаленного при 800 °С (рис. 3) мергеля показывает следующее. При прокаливании при 800 °С мергеля на ее рентгенограммах не фиксируются входящие в состав исходного мергеля: каолинит, монтмориллонит, хлорит, гипс и альбит.

Глинистые минералы дегидратируются. Гипс обезвоживается и преобразуется в ангидрит.

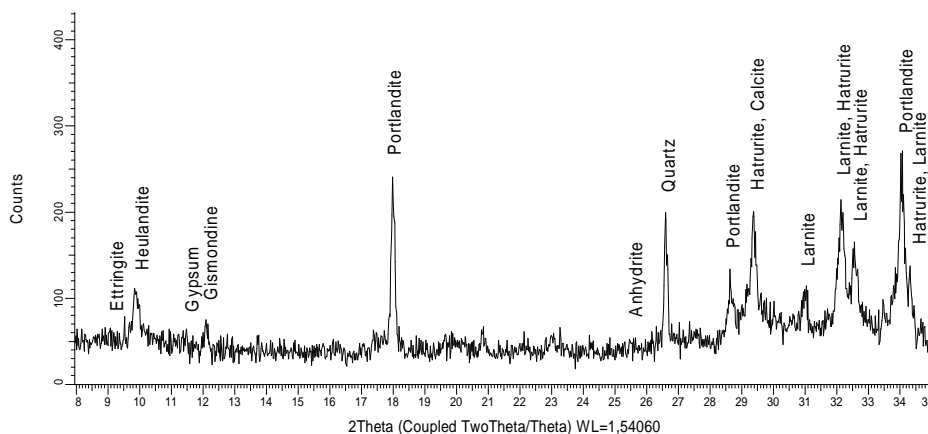


Рис. 4. Рентгенограмма и минеральный состав цементного камня с добавкой 15 %, прокаленного при 800 °С, мергеля

На рис. 4 приведена рентгенограмма цементного камня с добавкой 15 %, прокаленного при 800 °С, мергеля, у которого отличаются наиболее высокие показатели физико-технических свойств.

Сравнение рентгенограмм, приведенных на рис. 2 и рис. 4, показывает, что минеральный состав цементного камня при введении в портландцемент добавки, прокаленного при 800 °С, мергеля не отличается от минерального состава бездобавочного цементного камня. Разница в интенсивности пиков на рентгенограммах показывает изменение количественного содержания минералов, с чем связано в определенной мере изменение показателей свойств цементного камня.

Кроме того, на формирование свойств цементного камня с добавками глиниста на основе мергеля влияет образование гидрокарбоалюминатов кальция [29] и возможное образование твердых растворов между гидрокарбоалюминатом кальция и гидроксоалюминатом кальция состава $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Ca}(\text{OH})_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ [30].

Заключение

Добавки 5-20 % в портландцемент глинистов на основе мергеля с содержанием кальцита в 2 раза больше содержания глинистых минералов, полученных при определенных температурах прокаливания в диапазоне 400-800 °С и молотых до определенной тонкости помола в пределах 250-800 м²/кг позволяют: получать цементный камень с повышенными на 5-37 % прочностью при сжатии, на 0,2-3,8 % средней плотностью; повысить его коэффициент размягчения с 0,92 до 0,93-0,98 и понизить его водопоглощение с 1,0 до 0,9-0,7 %. Наиболее высокие показатели прочности при сжатии и коэффициента размягчения имеют цементные камни с добавками 10 и 15 % глинистов, прокаленных при 800 °С, и молотых до 250 м²/кг, в портландцемент.

Добавки 10-20 % отдельных глинистов, полученных при определенных температурах прокаливания и молотых до определенных удельных поверхностей, приводят к более высокой – до 20-50 % процентов прочности при сжатии цементного камня, чем аналогичные добавки метакеолина.

Повышенные показатели физико-технических свойств цементного камня с добавками определенных глинистов на основе мергеля связаны с возникновением в глинисте при прокаливании в результате твердофазных реакции примесей силикатов кальция, участвующих в формировании гидросиликатов кальция, и образования при гидратации цемента с добавками указанных глинистов гидрокарбоалюминатов и твердых растворов между гидрокарбоалюминатом кальция и гидроксоалюминатом кальция. Мергели по распространенности, количеству месторождений и запасов значительно превосходят каолиновые глины. Приведенные в настоящей работе результаты исследований показывают целесообразность производства и применения глинистов на основе мергелей как эффективных пуццолановых добавок для портландцемента, извести и строительных композитов на их основе.

Список библиографических ссылок

1. Ludwig H.-M. CO₂ – arme Zement furnachhaltige Betone // Weimar Deutschland. Ibausil. 16-19 September 2015. Band 2. P. 7–32.
2. 1st International Conference on Calcined Clays for sustainable Concrete : Proceedings, Losanna, 2015. 207 p.
3. Брыков А. С. Метакеолин // Цемент и его применение. 2012. № 4. С. 36–41.
4. Concrete Construction Engineering Handbook : CRC Press, 2008. 1586 p.
5. Siddigye R., Klaus I. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete // Applied Clay Science. 2009. Vol. 43. № 3-4. P. 392–400.
6. Tironi A., Castellano C. C., Bonavetti V. L., Trezza M. A., Scian A. N., Irassar F. F. Kaolinite calcined clay – Portland cement system: Hydration and properties // Construction and Building Materials. August 2014. Vol. 64. P. 215–221.
7. Castello L. R., Hernandez H. J. F., Scrivener K. L., Antonic M. Evolution of calcined clay soils as supplementary cementitious materials : Proceedings of the XIII International

- Congress of the chemistry of cement / Institute de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». Madrid, 2011. P. 117.
8. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р. Влияние добавок и в портландцемент полиминеральной глины на свойства цементного камня // Техника и технология силикатов. 2015. Т. 22. № 2. С. 2–5.
 9. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р. Свойства цементного камня с добавками глиниста // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 24–26.
 10. 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 Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 1. С. 80–84.
 11. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р. Влияние добавок в портландцемент прокаленной и молотой полиминеральной глины на прочность цементного камня // Цемент и его применение. 2015. № 2. С. 141–144.
 12. Тимашев В. В., Колбасов В. М. Свойства цементов с карбонатными добавками // Цемент. 1981. № 10. С. 10–12.
 13. Dhir R. K., Limbachiya M. C., McCarthy M. Y., Chaipanich A. Evolution of Portland Limestone cements for use in concrete construction // Materials and structures. 2007. Vol. 40. Issue 5. P. 459–473.
 14. Trümer A., Ludwig H.-M. Special durability issues of concretes made with composite cements containing clays : Ibausil / Weimar Deutschland. Weimar, 16-19 September 2015. Band I. P. 0627–0634.
 15. Бреслер А. Б., Руднева Г. А., Хари́ф С. Л., Нефедов А. С. Свойства тонкодисперсного вяжущего с известковым наполнителем // Цемент и его строительно-технические свойства. 1999. Вып. 100. С. 15–19.
 16. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z., Naumkina N. I., Khuzin A. F., Osin Y. N. Influence of limestone content, fineness, and composition on the properties and microstructure of alkali-activated slag cement // Cement and Concrete Composites. 2016. 72 (9). P. 268–274.
 17. Рахимова Н. Р., Рахимов Р. З. Влияние химико-минералогического состава добавок известняка на свойства композиционного шлакощелочного вяжущего // Известия вузов. Строительство. 2016. № 1 (685). С. 14–23.
 18. Schönc S., Dienemanin W., Wagner F. Portland-dolomite cement as alternative to Portland-limestone cement : XIII International congress on the chemistry of cement / Abstracts and Proceeding. Madrid, 3-8 July 2011. P. 44.
 19. Nocun-Wczelik W., Szybilsky M., Zuqaj E. Hydration of Portland cement with Dolomite : Proc XIV International congress on the chemistry of cement. Beijing, China. 13-16 October 2015. P. 320.
 20. Antoni M. Rossen I., Scrivener K., Castello R., Alujas Diaz A., Martirena I. Investigation of cement substitution by combined addition of calcined clays and limestone : XIII ICCS International congress on the chemistry of cement / Abstracts and Proceeding. Madrid, 3-8 July 2011. P. 44.
 21. Antoni M. Rossen I., Martirena I., Scrivener K. Cement substitution by a combined of metakaolin and limestone // Cement and Concrete Research. 2012. № 42. P. 1579–1589.
 22. Vance K., Aguayo M., Oey I., Sant G., Neithalath N. Hydration and strength development in ternary Portland cement blends containing limestone and fly ash or metakaolin // Cement and Concrete Composite. 2013. 39. P. 93–103.
 23. Стенберг М., Херфорт Д., Поульсен С. Л., Скибстед И., Дамфорт И. С. Композиционный цемент на основе портландцемента, известняка и прокаленной глин // Цемент и его применение. 2014. № 5. С. 44–49.
 24. Tironi A., Scian A. N., Irassar E. F. Hydration of cements elaborated with limestone filler proceedings calcined kaolinic clay : XIV International congress on the chemistry of cement. Beijing, China. 13-16 October 2015. Vol. II. P. 703.
 25. Berries S. S., Favier A., Domingez E. R., Machado I. R., Heierli U., Scrivenet K., Hernandez F. M., Habert G. Assessing the environmental calcined clay cement in Cuba // Journal of cleaner Production. 124 (2016). P. 361–369.

26. Kunther W., Dai Z., Skibsted J. Thermodynamic modeling hydrated white Portland cement metakaolin – limestone blends utilizing hydration kinetics from 29 si MASNMR Spectroscopy // Cement and Concrete Research. 2016. 86. P. 29–41.
27. Ostnor T. A., Justnes H., Rudolfen S. R. Strength development and durability of mortar with calcined material // Advances in Cement Research. 2014. 26. P. 344–252.
28. Danner T., Justness H., Norden G., Osfnor T. Fertility of calcined clay marl as alternative pozzolan : Proceedings of the 1st International Conference for sustainable Concrete. 2015. Vol. 10. P. 67–74.
29. Воробьев А. А. Бетоны и растворы с карбонатными микронаполнителями // Обзорная информация. М. : ВНИИТПИ, 2000. 33 с.
30. Козлова В. К., Маноха А. М., Скакун В. П., Малова Е. Ю., Божек Е. В. Особенности состава продуктов гидратации композиционных портландцементов с карбонатсодержащими добавками // Цемент и его применение. 2014. № 4. С. 102–105.

Rakhimov R.Z. – doctor of technical science, professor

E-mail: Rahimov@kgasu.ru

Rakhimova N.R. – doctor of technical science, professor

E-mail: rahimova.07@list.ru

Gaifullin A.R. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: 447044@list.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Morozov V.P. – doctor of geologo-mineralogical science, professor

E-mail: Vladimir.Morozov@kpfu.ru

Kazan (Volga region) Federal University

The organization address: 420008, Russia, Kazan, Kremlyovskaya st., 18

Effect of thermally activated marl additives on the properties of cement stone

Abstract

Problem statement. The increasing volumes of world production of Portland cement and the requirements to reduce CO₂ emissions at the same time led to the need to increase the volume of mineral additives to it. Nowadays the promising source of raw materials for the production of supplementary cementitious materials is ubiquitous and unlimited reserves of polymineral clays.

Results. The aim of this work was to study the effectiveness of marl additives in Portland cement, thermally activated at various temperatures and ground to a different specific surface. The results of the investigations made it possible to establish the effect of additives in Portland cement of calcined and ground marl on the normal density, density, strength, water absorption and the coefficient of softening of the cement stone. It has been established that additions to Portland cement of 10-20 % calcined at certain temperatures at 400-800 °C and ground to certain specific marl surfaces up to 250-800 m²/kg lead to a higher to 20-50 % compressive strength of cement stone than similar metakaolin additives.

Conclusions. The scientific and practical significance of the results of the work for building materials and building industry is to establish the effectiveness of replacing scarce mineral additives in Portland cement with additives based on a non-deficient marl.

Keywords: cement, mineral additive, metakaolin, calcination temperature, specific surface area, mineral composition, density, compressive strength, water adsorption, water resistance.

References

1. Ludwig H.-M. CO₂ – arme Zement furnachhaltige Betone // Weimar Deutschland. Ibausil. 16–19 September 2015. Band 2. P. 7–32.
2. 1st International Conference on Calcined Clays for sustainable Concrete : Proceedings, Losanna, 2015. 207 p.

3. Brykov A. S. Metakaolin // Tsement i yego primeneniye. 2012. № 4. P. 36–41.
4. Concrete Construction Engineering Handbook. Nawy. CRC Press., 2008. 1586 p.
5. Siddigye R., Klaus I. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete // Applied Clay Science. 2009. Vol. 43. № 3-4. P. 392–400.
6. Tironi A., Castellano C. C., Bonavetti V. L., Trezza M. A., Scian A. N., Irassar F. F. Kaolinite calcined clay – Portland cement system: Hydration and properties // Construction and Building Materials. August 2014. Vol. 64. P. 215–221.
7. Castello L. R., Hernandez H. J. F., Scrivener K. L., Antonic M. Evolution of calcined clay soils as supplementary cementitious materials : Proceedings of the XIII International Congress of the chemistry of cement / Institute de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». Madrid, 2011. P. 117.
8. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R. The effect of additives in the Portland cement of polymineral clay on the properties of cement stone // Tekhnika i tekhnologiya silikatov. 2015. T. 22. № 2. P. 2–5.
9. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R. Properties of cement stone with additions of clay // Stroitelnyye materialy. 2015. № 5. P. 24–26.
10. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R., Stoyanov O. V. Clay pozzolans. Part 2. Investigation of the pozzolanic efficiency of clays depending on the presence and content of kaolinite in them // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T. 19. № 1. P. 80–84.
11. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R. Effect of additives in Portland cement calcined and ground polymineral clay on the strength of cement stone // Tsement i yego primeneniye. 2015. № 2. P. 141–144.
12. Timashev V. V., Kolbasov V. M. Properties of Cements with Carbonate Additives // Cement. 1981. № 10. P. 10–12.
13. Dhir R. K., Limbachiya M. C., McCarthy M. Y., Chaipanich A. Evolution of Portland Limestone cements for use in concrete construction // Materials and structures. 2007. Vol. 40. Issue 5. P. 459–473.
14. Trümer A., Ludwig H.-M. Special durability issues of concretes made with composite cements containing clays : Ibausil / Weimar Deutschland. Weimar, 16-19 September 2015. Band I. P. 0627–0634.
15. Bresler A. B., Rudneva G. A., Kharif S. L., Nefedov A. S. Properties of fine binder with lime filler // Tsement i yego stroitelno-tekhnicheskkiye svoystva. 1999. V. 100. P. 15–19.
16. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z., Naumkina N. I., Khuzin A. F., Osin Y. N. Influence of limestone content, fineness, and composition on the properties and microstructure of alkali-activated slag cement // Cement and Concrete Composites. 2016. 72 (9). P. 268–274.
17. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z. The influence of the chemical and mineralogical composition of limestone additives on the properties of the composite slag-alkali binder // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo. 2016. № 1 (685). P. 14–23.
18. Schönc S., Dienemanin W., Wagner F. Portland-dolomite cement as alternative to Portland-limestone cement : XIII International congress on the chemistry of cement / Abstracts and Proceeding. Madrid, 3-8 July 2011. P. 44.
19. Nocun-Wczelik W., Szybilsky M., Zuqaj E. Hydration of Portland cement with Dolomite : Proc XIV International congress on the chemistry of cement. Beijing, China. 13-16 October 2015. P. 320.
20. Antoni M., Rossen I., Scrivener K., Castello R., Alujas Diaz A., Martirena I. Investigation of cement substitution by combined addition of calcined clays and limestone : XIII ICCI International congress on the chemistry of cement. / Abstracts and Proceeding. Madrid, 3–8 July 2011. P. 44.
21. Antoni M., Rossen I., Martirena I., Scrivener K. Cement substitution by a combined of metakaolin and limestone // Cement and Concrete Research. 2012. № 42. P. 1579–1589.
22. Vance K., Aguayo M., Oey I., Sant G., Neithalath N. Hydration and strength development in ternary Portland cement blends containing limestone and fly ash or metakaolin // Cement and Concrete Composite. 2013. № 39. P. 93–103.

23. Stenberg M., Kherfort D., Poulsen S. L., Skibsted I., Damfort I.S. Composite cement based on Portland cement, limestone and calcined clay // *Tsement i yego primeneniye*. 2014. № 5. P. 44–49.
24. Tironi A., Scian A. N., Irassar E. F. Hydration of cements elaborated with limestone filler proceedings calcined kaolinitic clay : XIV International congress on the chemistry of cement. Beijing, China. 13-16 October 2015. Vol. II. P. 703.
25. Berries S. S., Favier A., Domingez E. R., Machado I. R., Heierli U., Scrivenet K., Hernandez F. M., Habert G. Assessing the environmental calcined clay cement in Cuba // *Journal of cleaner Production*. 124 (2016). P. 361–369.
26. Kunther W., Dai Z., Skibsted J. Thermodynamic modeling hydrated whity Portland cement metakaolin – limestone blends utilizing hydration kinetics from 29 si MASNMR Specfroscopy // *Cement and Concrete Research*. 2016. № 86. P. 29–41.
27. Ostnor T. A., Justnes H., Rudolfen S. R. Strength development and durability of mortar with calcined material // *Advancec in Cement Research*. 2014. № 26. P. 344–252.
28. Danner T., Justness H., Norden G., Osfnor T. Fearbility of calcined clay mart as alternative pozzolan : Proceedings of the 1st International Conference for sustainable Concrete. Vol. 10. P. 67–74.
29. Vorobyev A. A. Concretes and solutions with carbonate microfillers. M. : VNIINTPI, 2000. 33 p.
30. Kozlova V. K. Manokha A. M., Skakun V. P., Malova Ye. Yu., Bozhhek Ye. V. Features of the composition of hydration products of composite portland cement with carbonate-containing additives // *Tsement i yego primeneniye*. 2014. № 4. P. 102–105.

УДК 691.54: 691.535

Файзрахманов И.И. – аспирант

E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com

Халиуллин М.И. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Леклу А.-Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: Ali-Nordine.Leklou@univ-nantes.fr

Амири О. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Ouali.Amiri@univ-nantes.fr

Политехнический университет Нанта

Адрес организации: BP 50609, Франция, г. Нант, ул. Кристиан Фаук, д. 1

Влияние тонкодисперсных отсевов бетонного лома на деформации и трещиностойкость строительных растворов

Аннотация

Постановка задачи. Целью настоящей работы явилось исследование влияние добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома на усадочные деформации и трещиностойкость строительных растворов на основе портландцемента при их твердении.

Результаты. С применением стандартных и оригинальных методов исследования изучено влияние добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома: на кинетику тепловыделения твердеющих цементных композиций, характер которой связан с деформациями усадки цементного камня в ранние сроки твердения; на трещинообразование раствора при усадке в стеснённых условиях, на изменение модуля упругости твердеющего раствора.

Выводы. Установлена возможность получения строительных растворов с заменой до 15 % портландцемента в составе вяжущего на тонкодисперсный отсев бетонного лома без существенного снижения прочности раствора. Показано, что при увеличении содержания добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в составе цементных композиций наблюдается снижение тепловыделения при их твердении. Установлено, что совместное введение добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома и пластификатора обеспечивает повышение трещиностойкости растворов при усадке в стеснённых условиях до показателей, существенно превышающих показатели трещиностойкости растворов без введения добавки. Показано, что введение комплексной добавки не приводит к существенным снижениям модуля упругости раствора по сравнению с бездобавочным составом.

Ключевые слова: отсевы бетонного лома, раствор, портландцемент, трещинообразование, модуль упругости.

Введение

Возрастающее потребление промышленностью природных ресурсов и образование отходов приводит к негативным воздействиям на окружающую среду. Одной из проблем, связанных с ростом численности населения и урбанизацией, является рост объемов строительных отходов. Согласно данным Европейской Комиссии порядка 23 % от всех отходов строительной отрасли составляет бетонный лом [1].

Промышленность строительных материалов относится к числу наиболее материалоемких отраслей, потребляя до 30 % всех добываемых природных ресурсов [2].

Одним из основных направлений снижения материалоемкости производства строительных материалов является расширение применения промышленных отходов взамен природного сырья. Вторичная переработка бетона – это один из наиболее эффективных способов использования строительных отходов [3]. Из основных

компонентов бетонов и строительных растворов наиболее энергоемким и дорогим в производстве является портландцемент. Вопросам снижения содержания портландцемента в бетонах и строительных растворах без ухудшения свойств и качества строительной продукции с целью уменьшения себестоимости и энергоемкости ее производства посвящен широкий спектр работ отечественных и зарубежных исследователей [4-6]. Одним из наиболее перспективных решений в этой области является применение в составе бетонных, растворных и сухих строительных смесей тонкодисперсных отсевов бетонного лома.

В ранее опубликованных авторами настоящей работы результатах исследований [7] показана возможность введения в состав цементных напольных самовыравнивающихся сухих строительных смесей без существенного снижения прочностных показателей растворов тонкодисперсного отсева бетонного лома с заменой до 15 % портландцемента. Исследованы основные физико-механические свойства полученных растворов и не уступающих соответствующим показателям свойств промышленных аналогов. Показано, что полученный эффект при введении добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома обусловлен проявлением эффекта стерического стеснения и процесса твердения ранее негидратировавших частиц портландцементного клинкера в составе добавки.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома на деформации и трещиностойкость строительных растворов на основе портландцемента в процессе их твердения.

Методы и материалы

При проведении исследований для приготовления строительных растворов использовались следующие материалы.

Портландцемент класса СЕМ I 52,5 N по EN 197-1 (ЦЕМ I 52,5Н по ГОСТ 31108), производства компании «Сiments Calcia S.A.», Франция.

Тонкодисперсный отсев бетонного лома региона Иль-де-Франс (Франция), следующего химического состава (содержание в % по массе): CaO – 28,03; SiO₂ – 40,58; Al₂O₃ – 3,64; Fe₂O₃ – 1,56; TiO₂ – 0,2; MnO – 0,05; MgO – 1,1; SO₃ – 0,67; K₂O – 0,58; Na₂O – 0,2; P₂O₅ – 0,09; SrO – 0,05; ППП – 22,99.

Стандартный песок в соответствии с EN 196-1.

Пластификатор «СIMFLUID DUO 3032» на основе модифицированного поликарбонилата производства компании «Sika AG.» (Швейцария) по NF EN 934-2.

Подготовка тонкодисперсного отсева бетонного лома осуществлялась следующим образом. Дробленный бетонный лом измельчался в лабораторной мельнице. Полученный продукт просеивался через сито № 008. Отсеянный порошок высушивался при температуре 105 °С в течение 24 часов.

Изготовление и испытания образцов осуществлялось в соответствии с EN 196-1, EN 1015-2, EN 1015-3, EN 1015-10, EN 1015-11.

Исследование кинетики тепловыделения при твердении портландцемента с введением добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в количестве от 0 до 30 % осуществлялось согласно методике ГОСТ 310.5 с использованием 8-канального изотермического калориметра TAM AIR производства фирмы «TA Instruments». Постоянная температура внутри измерительного канала составляла 20 °С [8].

Исследования влияния добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома на трещиностойкость строительных растворов при усадке в стеснённых условиях осуществлялось согласно методике американского стандарта ASTM C1581-04, а также методик, представленных в работах [9, 10]. Испытание производилось с применением устройства, разработанного в Политехническом университете Нанта (Франция) (рис. 1) [10].

Устройство состоит из двух колец: внутреннего стального диаметром 190 мм, толщиной 10 мм и внешнего пластикового диаметром 290 мм. Высота колец составляет 40 мм. В полость между кольцами укладывают растворную смесь, где она твердеет в нормальных условиях.

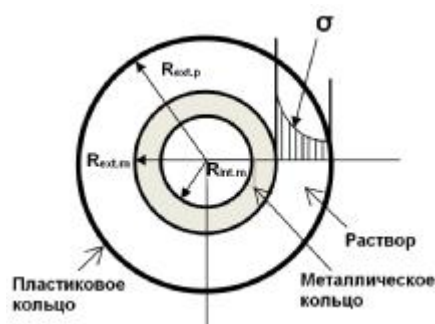


Рис. 1. Схема устройства для определения трещиностойкости строительных растворов при усадке в стеснённых условиях

Испытания проводились в климатической камере при температуре 40 °С. Стальное кольцо предотвращает сжатие раствора, создавая в твердеющем растворе внутренние деформации и растягивающее напряжение:

$$\sigma_{int}(t) = -\varepsilon(t) \times E_M \times C_a, \quad (1)$$

где $\sigma_{int}(t)$ – максимальное внутреннее напряжение в растворе в зависимости от времени;

$\varepsilon(t)$ – деформация поверхности металлического кольца;

E_M – модуль упругости металлического кольца;

C_a – коэффициент, зависящий от геометрии кольца.

$$C_a = \frac{R_{exp}^2 + R_{extm}^2}{R_{exp}^2 - R_{extm}^2} \times \frac{R_{extm}^2 - R_{intm}^2}{2R_{extm}^2}, \quad (2)$$

где $R_{ext,p}$ – наружный радиус растворного кольца;

$R_{int,m}$ – наружный радиус металлического кольца;

$R_{ext,m}$ – внутренний радиус металлического кольца.

Когда растягивающее напряжение превышает предел прочности раствора на растяжение, происходит образование трещины в растворе. Стальное кольцо снабжено датчиками, позволяющими контролировать развитие деформаций поверхности стального кольца и определить момент трещинообразования раствора.

Определение динамического модуля упругости осуществлялось по измерению резонансных частот образцов раствора в соответствии с французским стандартом NF P18-414 на приборе «GrindoSonic Mk5 «Industrial»» производства бельгийской фирмы «Lemens Electronic N.V.». Для определения модуля упругости изготавливались образцы раствора – балочки размером 40×40×160 мм. Для трех типов вибрации: продольной, поперечной и торсионной, генерируемых ударом и воспринимаемых акселерометром определялась резонансная частота вибрации образца. На основании результатов измерений рассчитывался модуль упругости.

Результаты и обсуждение результатов

На первом этапе работы исследована кинетика тепловыделения твердеющих цементных композиций с различным содержанием добавки тонкодисперсных отсеков бетонного лома и постоянном водоцементном отношении 0,4. Результаты исследований приведены на рис. 2.

Представленные кривые показывают, что максимальные значения тепловыделения характерно для контрольного состава без введения добавки тонкодисперсных отсеков бетонного лома. С увеличением содержания добавки тонкодисперсных отсеков бетонного лома в составе цементной композиции значение тепловыделения, соответствующего максимальному пику на кривых снижается, сдвигаясь по времени на более длительные сроки твердения, и является минимальным для цементной композиции с содержанием 30 % добавки. Известно, что количество теплоты, выделяемое при твердении цементных композиций связано с деформациями усадки, которые испытывает цементный камень в ранние сроки твердения. Таким образом, с учетом снижения тепловыделения при твердении цементных композиций с увеличением содержания добавки тонкодисперсных отсеков бетонного лома, в таких композициях можно ожидать снижения усадочных деформаций в ранние сроки твердения.

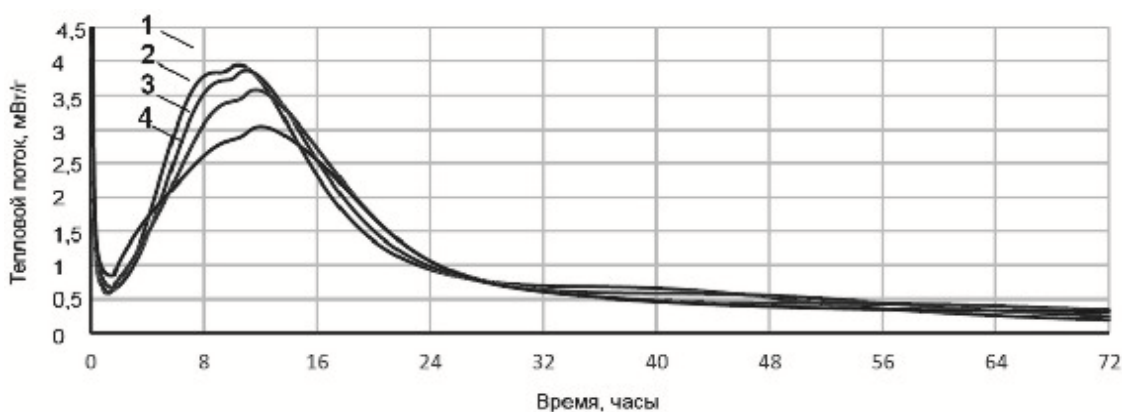


Рис. 2. Кинетика тепловыделения твердеющих цементных композиций с различным содержанием добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома (в % от массы сухой смеси): 1 – 0; 2 – 5; 3 – 15; 4 – 30

На следующем этапе работы исследовано влияние добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома на трещинообразование раствора при усадке в стеснённых условиях. Для проведения исследования изготавливались составы растворов смесей, представленные в таблице. Водоцементное отношение (В/Ц) определялось водопотребностью растворов смесей для получения стандартной консистенции в соответствии с EN 1015-3.

Таблица

Составы растворов смесей (в % по массе)

| № состава | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|------|------|------|
| Портландцемент | 32 | 27,8 | 27,8 |
| Отсев бетонного лома | - | 4,8 | 4,8 |
| Песок | 68 | 68 | 68 |
| Пластификатор CIMFLUID DUO 3032* | - | - | 1,7 |
| В/Ц | 0,42 | 0,44 | 0,35 |

*Примечание: количество пластификатора представлено в % от общей массы вяжущего

Результаты выполненных исследований приведены на рис. 3-5.

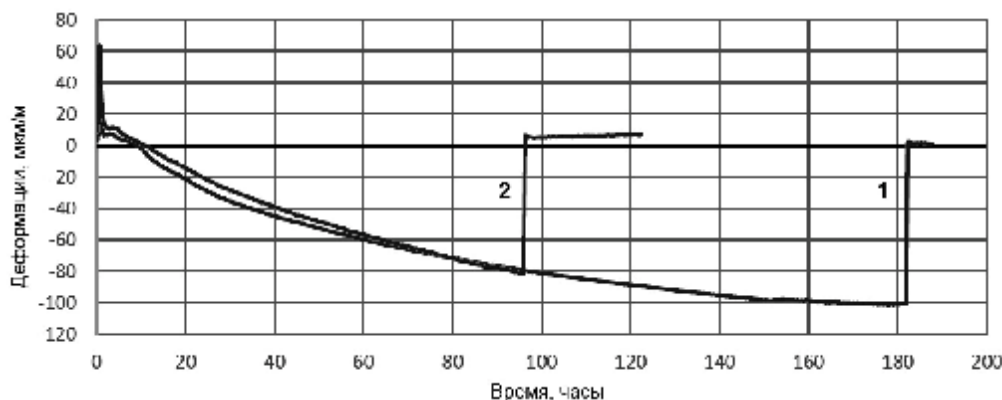


Рис. 3. Развитие деформаций в металлическом кольце во времени для растворов составов 1 и 2

Во время проведения эксперимента развитие деформации в металлическом кольце происходит в три стадии (рис. 3). На первой стадии, продолжительность которой составляет до 10 часов с начала проведения эксперимента не наблюдаются сжимающие

деформации металлического кольца. На второй стадии, продолжительность которой составляет от 10 часов с начала проведения эксперимента до времени образования трещины, усадка раствора (до преодоления предела его прочности) вызывает увеличение сжимающей нагрузки на металлическое кольцо. Возникающее напряжение вызывает деформации металлического кольца до момента образования трещины в растворе. Образование трещины сопровождается резким скачком на кривых рис. 3. На третьей стадии после образования трещины в растворе, деформация металлического кольца находится в пределах нулевого значения и эксперимент может быть завершен.

Для состава 1 без введения добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома первая трещина была зафиксирована (резкий скачок кривой на рис. 3) через 182 часа после начала испытаний. Для состава 2 с добавкой тонкодисперсного отсева бетонного лома в количестве 15 % от массы портландцемента первая трещина была зафиксирована через 96 часов после начала испытаний.

Таким образом, введение в состав раствора добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в количестве до 15 % от массы портландцемента снижает трещиностойкость раствора, вероятно, вследствие снижения его прочностных показателей.

Для повышения трещиностойкости растворов с добавкой тонкодисперсных отсевов бетонного лома за счет увеличения его прочности в состав растворной смеси вводился пластификатор CIMFLUID DUO 3032, позволяющий при сохранении стандартной консистенции смеси снизить на 9 % водоцементное отношение. По данным исследований, приведенным в работе [2], для раствора состава 3 при совместном введении добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в количестве 15 % от массы портландцемента и пластификатора CIMFLUID DUO 3032 показатели прочности при сжатии и изгибе (соответственно, 62,6 и 9,2 МПа) практически не уступает прочности при сжатии и изгибе (соответственно, 63,4 и 10,0 МПа) раствора состава 1 без введения добавок.

Согласно результатам исследований трещинообразования раствора при усадке в стеснённых условиях для раствора состава 3 при совместном введении добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в количестве 15 % от массы портландцемента и пластификатора CIMFLUID DUO 3032 образование трещин для данного состава не наблюдалось даже спустя 1100 часов с начала проведения эксперимента (рис. 4).

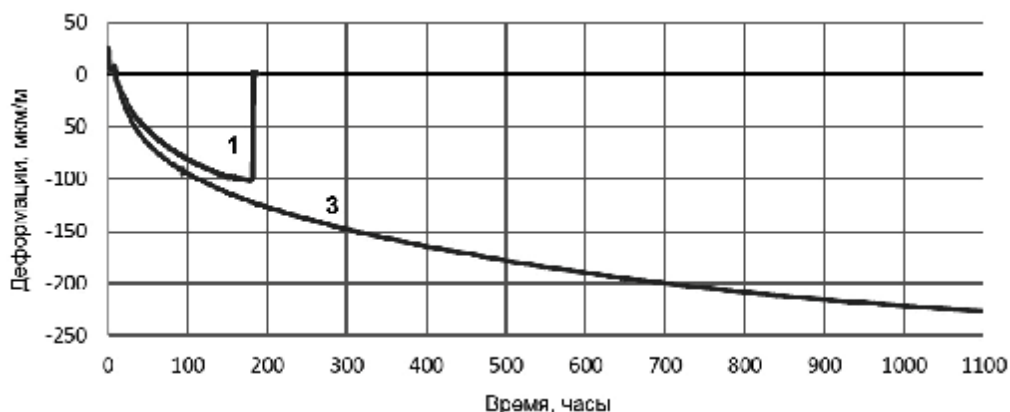


Рис. 4. Развитие деформаций в металлическом кольце во времени для растворов составов 1 и 3

На третьем этапе работы исследовано изменение динамического модуля Юнга в процессе твердения образцов растворов составов 1 и 3 (табл.). Согласно результатом исследований, представленных на рис. 5, введение добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в количестве 15 % от массы портландцемента и пластификатора CIMFLUID DUO 3032 не приводит к существенным (свыше 10 %) снижениям модуля упругости раствора по сравнению с бездобавочным составом.

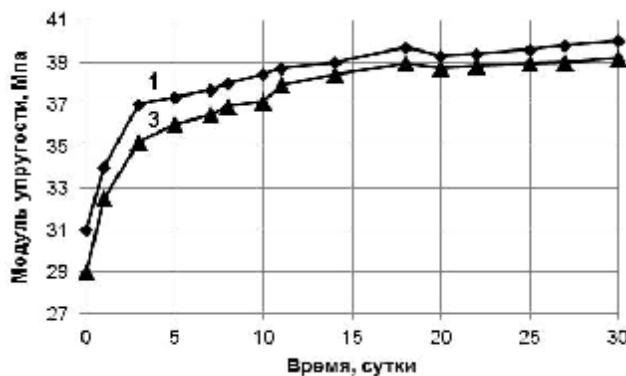


Рис. 5. Изменение модуля упругости растворов во времени для составов 1 и 3

Заключение

Таким образом, в результате выполненных исследований установлена возможность получения строительных растворов с заменой до 15 % портландцемента в составе вяжущего на тонкодисперсный отсев бетонного лома без существенного снижения прочностных показателей раствора. Показано, что с учетом снижения тепловыделения при твердении цементных композиций с добавкой тонкодисперсных отсевок бетонного лома, в таких композициях можно ожидать снижения усадочных деформаций в ранние сроки твердения. Установлено, что совместное введение добавки тонкодисперсных отсевок бетонного лома в количестве до 15 % от массы портландцемента и пластификатора обеспечивает повышение трещиностойкости растворов при усадке в стеснённых условиях до показателей, существенно превышающих показатели трещиностойкости растворов без введения добавки. Показано, что введение комплексной добавки не приводит к существенным снижениям модуля упругости раствора по сравнению с бездобавочным составом.

Список библиографических ссылок

1. Гурьева В. А., Лунёва О. А. Рациональное использование бетонного лома: материалы Всероссийской научно-методической конференции «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры» / Оренбургский государственный университет. Оренбург, 2014. С. 635–638.
2. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Фатыхов Г. А. К комплексному использованию шлаков и бетонного лома в производстве шлакощелочных вяжущих // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 218–223.
3. Чернышева Н. В., Дребезгова М. Ю. Композиционное гипсовое вяжущее с минеральной добавкой бетонного лома: материалы VII Международной научно-практической конференции по гипсу «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий» / Де Нова. М., 2014. С. 239–243.
4. Kwan W. H., Ramli M., Kam K. J., Sulieman M. Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties // Construction and Building Materials. 2012. № 26. P. 565–573.
5. Bravo M., de Brito J., Pontes J., Evangelista L. Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants // Construction and Building Materials. 2015. № 77. P. 357–369.
6. Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М. Ш., Бисултанов Р. Г., Муртазаева Т. С.-А. Высококачественные модифицированные бетоны с использованием вяжущего на основе реакционно-активного минерального компонента // Строительные материалы. 2016. № 8. С. 74–79.

7. Файзрахманов И. И., Халиуллин М. И., Леклу А.-Н., Амири О. Использование тонкодисперсных отсеков бетонного лома в цементных композициях для получения строительных растворов // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 395–401.
8. Адамцевич А. О., Пашкевич С. А., Пустовгар А. П. Использование калориметрии для прогнозирования роста прочности цементных систем ускоренного твердения // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 3. С. 36–42.
9. Grzybowski M., Shah S. P. Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete // ACI Materials Journal. 1990. Vol. 87. № 2. P. 138–148.
10. Shah H. R., Weiss J. Quantifying shrinkage cracking in fiber reinforced concrete using the ring test // Materials and Structures. 2006. Vol. 39. № 9. P. 887–899.

Faizrakhmanov I.I. – post-graduate student

E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com

Khaliullin M.I. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Leklou A.-N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Ouali.Amiri@univ-nantes.fr

Amiri O. – doctor of technical science, professor

E-mail: Ouali.Amiri@univ-nantes.fr

Polytech Nantes

The organization address: BP 50609, France, Nantes, Christian Pauc st., 1

The influence of the fine screenings of concrete waste on the deformation and fracture toughness of mortar

Abstract

Problem statement. The aim of this work was to study the influence of additives of fine screenings of concrete waste on the shrinkage deformation and crack resistance of mortars based on Portland cement when hardening.

Results. Using standard and original methods of research studied the influence of additives of fine screenings of concrete waste: on the kinetics of heat-curing cement compositions, the nature of which is associated with the shrinkage deformations of cement stone at early stages of hardening; for cracking of the mortar shrinkage in the constrained conditions, the change of the modulus of elasticity of hardened mortar.

Conclusions. The possibility of obtaining a mortar with replacement of up to 15 % of Portland cement in the binder for fine screening of concrete waste without significantly reducing the strength of the solution. It is shown that with increasing content of additives fine screenings of concrete waste in the composition of the cement compositions, a decrease in heat when hardening. It is established that the joint introduction of the additive of fine screenings of concrete waste and plasticizer provides increased fracture toughness of mortars shrinkage in cramped conditions to levels that significantly exceeds the fracture toughness of mortars without additive injection. It is shown that the introduction of a complex additive does not lead to a significant reduction in the modulus of elasticity of the mortar compared to the cement with no composition.

Keywords: screening of concrete waste, mortar, portland cement, cracking, modulus of elasticity.

References

1. Gureva V. A., Luneva O. A. Rational use concrete waste: materials of Russian scientific-methodical conference «University complex as a regional center of education, science and culture» / Orenburg state University. Orenburg, 2014. P. 635–638.

2. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Fatykhov G. A. To the complex use of slags and concretewaste in production of slag-alkaline bindings // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 2 (16). P. 218–223.
3. Chernysheva N. V. Drebezgova M. Y. Composite gypsum binder with the mineral additive of concrete waste: proceedings of the VII International scientific-practical conference «Improving efficiency of production and application of gypsum materials and products» / *De Novo*. M., 2014. P. 239–243.
4. Kwan W. H., Ramli M., Kam K. J., Sulieman M. Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties // *Construction and Building Materials*. 2012. № 26. P. 565–573.
5. Bravo M., de Brito J., Pontes J., Evangelista L. Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants // *Construction and Building Materials*. 2015. № 77. P. 357–369.
6. Murtazaev S.-A. Yu, Salmanova M. S., Bisultanov R. G., Murtazayeva T. S. A. Of high Quality modified concrete using a binder based on reactive mineral component // *Stroitelnye materialy*. 2016. № 8. P. 74–79.
7. Faizrahmanov I. I. Khaliullin M. I., Leklou A.-N., Amiri O. Use the fine screenings of concrete waste in a cement composition for producing mortar // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 4 (38). P. 395–401.
8. Adamtsevich A. O., Pashkevich S. A., Pustovgar A. P. Application of calorimetry for prognosticating strength increase of fast-curing cement systems // *Magazine of Civil Engineering*. 2013. № 3. P. 36–42.
9. Grzybowski M., Shah S. P. Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete // *ACI Materials Journal*. 1990. Vol. 87. № 2. P. 138–148.
10. Shah H. R., Weiss J. Quantifying shrinkage cracking in fiber reinforced concrete using the ring test // *Materials and Structures*. 2006. Vol. 39. № 9. P. 887–899.

УДК 691. 3

Хамза Абдулмалек Кайс – аспирант

E-mail: hamza.qais@mail.ru

Потапова Л.И. – кандидат химических наук, доцент

E-mail: ludmilapo@mail.ru

Морозова Н.Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: ninamor@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Исследования взаимодействия химических модификаторов и цеолита в водном растворе

Аннотация

Постановка задачи. Цель работы – исследование взаимодействия добавок поликарбоксилатной основы с природным цеолитом в водном растворе.

Результаты. В работе представлены результаты исследования взаимодействия добавок Карбоксинор Альфа и Melflux 2651 F с природным цеолитом, содержащим 75 % клиноптилолита. Методом ИК-спектроскопии изучены сорбционные свойства природного цеолита по отношению к химическим добавкам, высокоэффективным в цементных системах. Подвижность водоминеральных паст с химическими добавками и без них исследовали на границе гравитационной растекаемости при регулировании В/Т отношения.

Выводы. Методом ИК-спектроскопии установлено, что, при модификации природного цеолита добавкой Melflux 2651F, возникновение дополнительных связей в образце не обнаружено, тогда как добавка Карбоксинор Альфа четко фиксировалась на поверхности минералов цеолитового порошка. С позиции водоредуцирующего действия, исследуемые химические добавки поликарбоксилатной основы оказались менее эффективными для порошка природного цеолита.

Ключевые слова: ИК-спектры, природный цеолит, Карбоксинор Альфа, Melflux 2651 F, водопотребность.

Введение

В настоящее время в области спектрометрической идентификации органических соединений можно использовать интернет, диски и программное обеспечение ИК-спектрометров в виде массивов ИК-спектров. Однако справочные таблицы незаменимы. в процессе освоения метода ИК-спектроскопии при решении исследовательских задач. Поиск и экспертные системы зачастую выдают результаты в виде нескольких альтернативных структур. и окончательный выбор осуществляется пользователем с привлечением таблиц. или литературных данных. При интерпретации ИК-спектров важно обращать внимание не только на положение максимумов характеристических полос, но и на их интенсивность, форму, расположение относительно других полос [1, 2].

Как известно, метод ИК-спектроскопии основан на способности веществ взаимодействовать с электромагнитным излучением в инфракрасной области энергетического спектра, т.е. в области длин волн $\lambda = 2,5-25$ мкм ($4000-400$ см⁻¹). Эта область носит название средней инфракрасной области. Область $400-10$ см⁻¹ относится к дальней, а область $12500-4000$ см⁻¹ – к ближней ИК-области. Такое подразделение возникло в связи со свойствами оптических материалов (прозрачностью и линейной дисперсией). Если границей между ближней и средней областью принято считать ~ 2 мкм (~ 5000 см⁻¹), то граница между средней и длинноволновой областью связывалась с длинноволновым пределом рабочего диапазона призмы из кристалла KBr – 25 мкм (400 см⁻¹). Однако, принципиальных различий между интервалами $10-200$ и $10-400$ см⁻¹, как и в области выше 400 см⁻¹ авторы работ [3, 4] не указывают.

Поскольку в строительном материаловедении приоритетным направлением развития становятся материалы с высокими эксплуатационными характеристиками, а главным строительным материалом является цементный бетон и при правильном проектировании его срок службы неограничен. Цементная матрица бетона отвечает за кратковременные и

дальнесрочные свойства и является одним из определяющим их фактором. Сегодня для производства цементных бетоны высоких марок используются не только эффективные химические добавки, но и активные минеральные, которые оказывают существенное влияние на значения их показателей. Поэтому в области вяжущих веществ в настоящее время предметом исследований является углубленное изучение механизма их гидратационного твердения. При этом наряду с другими эффективными методами используется и метод ИК-спектроскопии. С помощью него возможно одновременное определение несвязной воды, а также свободных и ассоциированных групп ОН. При этом конкретные молекулы дают характерные пики спектра поглощения при известных длинах волн, по которым их можно обнаружить [5]. Так же ИК-метод фиксирует изменения частот или интенсивности абсорбционных полос поглощения, что позволяет оценить количество и положение замещающих ионов [6-8], т.е. степени равновесности структуры.

В связи с вышеизложенным, задачей данного эксперимента являлось исследование характера взаимодействия между химическими модификаторами и природным цеолитом с большим содержанием клиноптилолита в водном растворе с помощью ИК-спектроскопии. Известно, что этот метод использован в изучении цеолитсодержащих мергелей с малым содержанием клиноптилолита и при исследовании смешанных цементов [9-11].

Метод исследования

В данной работе регистрацию ИК-спектров производили с помощью приставки НПВО Miracle ATR (кристалл ZnSe) в области $4000 - 650 \text{ см}^{-1}$ на спектрофотометре PerKin ElmerFT-IR при стандартных условиях регистрации. Обработка спектров производилась с помощью прилагаемого программного обеспечения прибора. Спектры препаратов, наносимых непосредственно на кристалл НПВО регистрировали при комнатной температуре. Спектры образцов модифицирующих добавок готовили в виде спрессованного порошка, наносимого на элемент НПВО специальным прижимом, входящим в комплект прибора. На рис. 1 показан спектрофотометр PerKin ElmerFT-IR Spectrometer model Spectrum 65.



Рис. 1. Спектрофотометр PerKin ElmerFT-IR Spectrometer модель Spectrum 65

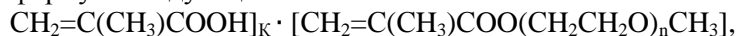
Характеристика материалов

Объектом исследования явился природный цеолит месторождения с Синайского полуострова Египта (далее цеолит Е), который перерабатывается в гранулированный материал фирмой «Gawish import & export egypt». Дробление породы производится до получения фракции с размером зерен до 0,08 мм. Породообразующим минералом цеолита является клиноптилолит, содержание которого составляет 75 %. Цеолит – это алюмосиликатная порода с соотношением Si/Al равным 4,8-5,4. Его удельная поверхность, определенная по ПСХ, составила $6600 \text{ см}^2/\text{г}$.

Использовали химические добавки: поликарбоксилатный эфир Карбоксинор Альфа и суперпластификатор Melflux 2651 F.

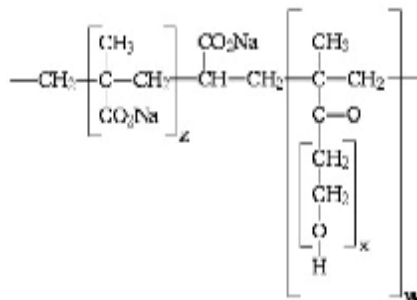
Поликарбоксилатный эфир Карбоксинор Альфа представляет собой водорастворимый сополимер ненасыщенных карбоновых кислот и алкоксиалкиленполигликолевых эфиров ненасыщенных карбоновых кислот, полученный методом радикальной полимеризации в водном растворе. Изготавливается в соответствии

с требованиями ТУ 2216-020-71150986-2013. Технические данные: жидкость светло-коричневого цвета, плотность – 1,07...1,14 г/см³, 25 % раствор при 20 °С имеет рН=13-15. Его химическая формула следующая:



где $n = 1 \div 50$.

Суперпластификатор Melflux 2651 F, полученный от фирмы «ЕвроХим 1», представляет собой хорошо растворимый в воде желтоватый порошок, поликарбоксилатной основы. Структурная формула добавки Melflux 2651 F следующая:



Результаты исследования

Для установления взаимодействия химически модификаторов: поликарбоксилатного эфира Карбоксинор Альфа и суперпластификатора Melflux 2651 F с природным цеолитом. готовили водные растворы химических добавок, концентрация которых принималась оптимальной для цементных систем и была установлена в выполненной ранее работе [12]. Водными растворами химических добавок обрабатывали порошок цеолита, после чего его подвергали сушке. по мягкому режиму при низкой температуре. Исследования сорбции цеолитом химических добавок оценивали ИК-методом и по изменению В/Т пасты.

Анализ приведенного ИК-спектра показывает (рис. 2), что при переходе от первого состава к четвертому в области от 800 до 1100 см⁻¹ наблюдается сдвиг характеристической частоты 1043 см⁻¹ к 1031 см⁻¹ и проявляется более четкий частотный контур, что можно объяснить перестройкой связей (O-Si)-ОН и Al-O(-H). Как указывает автор [9], химическая связь Al-O отличается от Si-O длиной и меньшей силой, т.е. при этом прочность связи Al-O меньше в 1,5-1,7 раза. Полосы поглощения в области 970-972 см⁻¹ имеют большую интенсивность из-за наличия связи (O-Si)-ОН. Для структур, включающих трехвалентные ионы в октаэдрических позициях, обнаруживается полоса ОН в области 800-1000 см⁻¹, при этом ее положение зависит от расстояния металл-гидроксильной связи и ее силы, и она относится к Al-O(-H). В подобных алюмосиликатных системах обнаружение очень слабых полос 903 и 940 см⁻¹ объясняется проявлением деформационных колебаний немостиковой связи Al-O(-H), которая гораздо длиннее и слабее, чем связи Si-O.

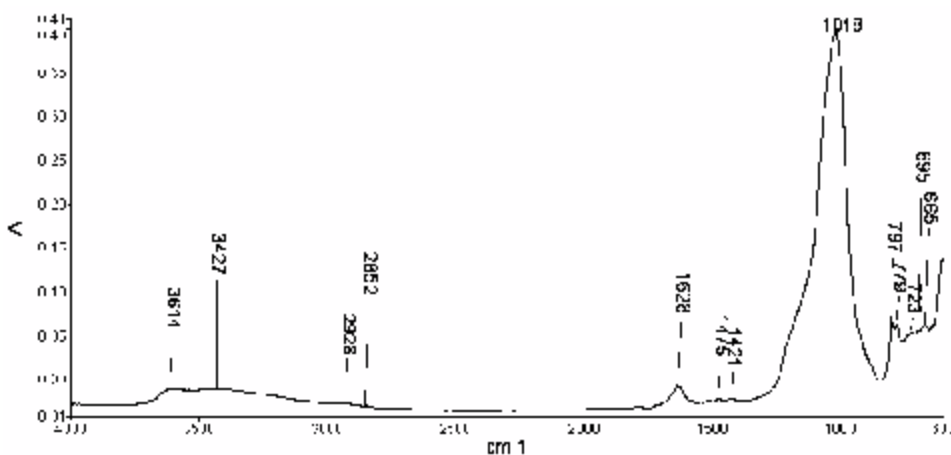


Рис. 2. ИК-спектры порошка природного цеолита из Египта

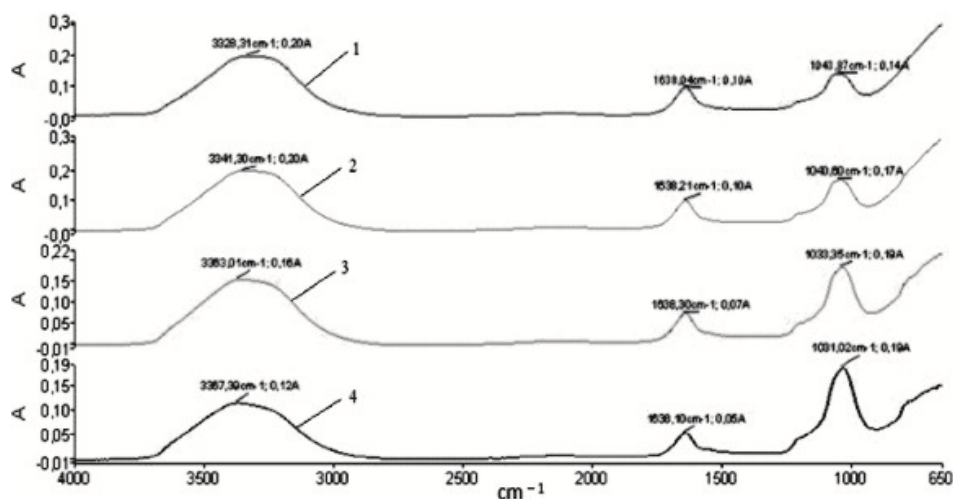


Рис. 3. ИК-спектры модифицированного цеолита добавкой Карбоксинор Альфа:
 1 – Обработка водным раствором поликарбоксилатной добавки эфир Карбоксинор Альфа без сушки; 2 – то же, с сушкой 1 час при 30⁰С; 3 – то же, с сушкой 2 час при 30⁰С; 4 – то же, с сушкой 3 час при 30⁰С

Как видно из рис. 3-4, при совмещении ИК-спектров цеолита модифицированного добавкой Карбоксинор Альфа, подвергнутых сушке, сорбционная вода увеличивает интенсивность характеристических откликов (полос). Это обстоятельство, по-нашему мнению, можно объяснить способностью добавки Карбоксинор Альфа сильнее фиксироваться на поверхности минералов цеолитового порошка и, вероятно, способствовать химическим взаимодействиям. В силу специфичности структуры природного цеолита наличие полостей и цеолитных окон. могло привести к «заглатыванию» звеньев молекулы добавки или составляющих добавки, ушедших в водный раствор при совмещении ее с цеолитовым порошком. При этом наблюдаются изменения как в области 3000-3500 см⁻¹, так и в области «отпечатков пальцев» – 800-1600 см⁻¹ в контрольном образце и после 3-х часов сушки.

По рис. 2-4 можно предположить, что сорбция из раствора Карбоксинор Альфа клиноптилолитом природного цеолита обуславливает изменение состояния структуры растворителя.

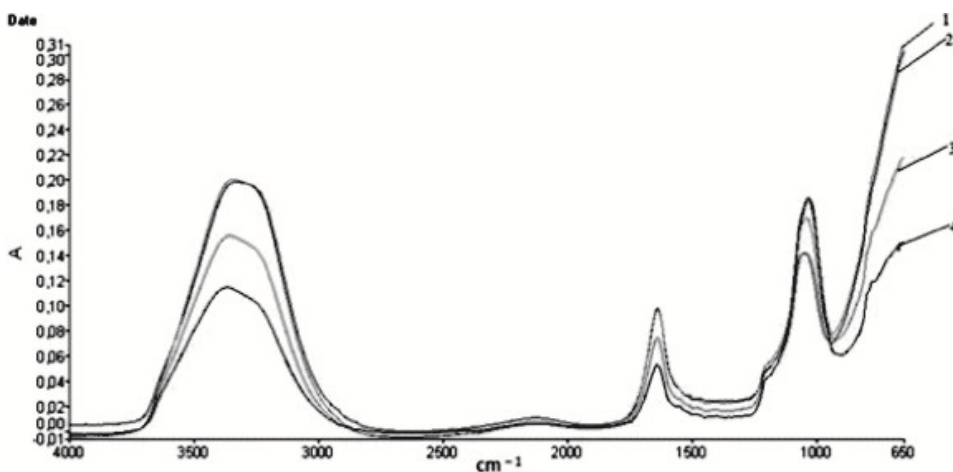


Рис. 4. Совмещенные ИК-спектры модифицированного цеолита добавкой Карбоксинор Альфа:
 1 – Обработка водным раствором поликарбоксилатной добавки эфир Карбоксинор Альфа без сушки; 2 – то же, с сушкой 1 час при 30⁰С; 3 – то же, с сушкой 2 час при 30⁰С; 4 – то же, с сушкой 3 час при 30⁰С

Методом ИК-спектрального исследования было установлено. наличие характерных структурных групп цеолита модифицированного добавкой Melflux 2651 F (рис. 5).

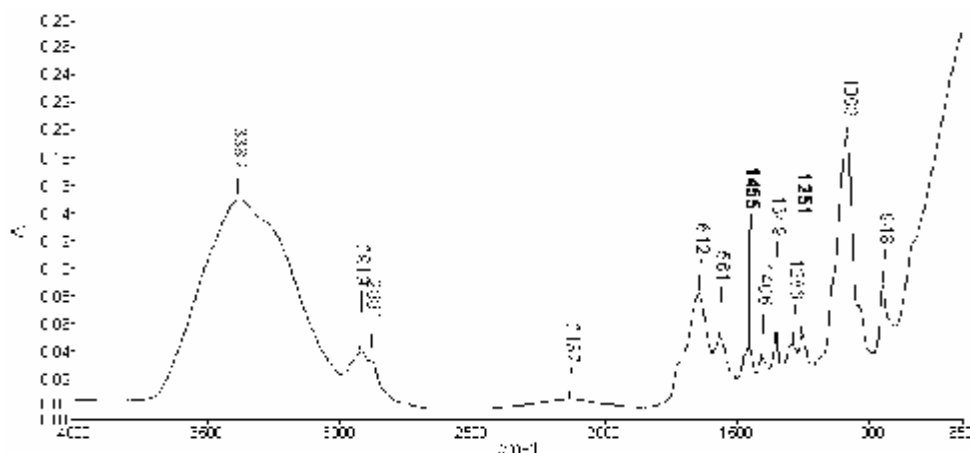


Рис. 5. ИК-спектр водного раствора добавки Melflux 2651 F на зернах цеолита

Широкая полоса с пиком в области 3382 см^{-1} связана с наличием цеолитовой воды, 1628 см^{-1} – полоса деформационных колебаний молекул воды. цеолита, а 1642 см^{-1} деформационных колебаний молекул воды Melflux 2651 F. Для того, чтобы выяснить характер связи модификатора с цеолитом были изучены ИК-спектры и произведено вычитание из спектра модифицированной формы цеолита спектра не модифицированного цеолита. Поскольку спектральное проявление процессов, происходящих на поверхности. носит размытый характер, для обеспечения корректности проведенного сравнительного анализа был применен метод базовой линии. и внутреннего стандарта. В качестве последнего выбрана полоса деформационных колебаний воды ($\sim 1628\text{ см}^{-1}$). Полученные результаты математической обработки. спектральных данных показали, что возникновения дополнительных связей не выявлены. Установлено, что при модификации природного цеолита. добавкой Melflux 2651 F не обнаружено возникновение дополнительных связей в образце.

Таким образом, с учетом объяснений авторов [3, 13] и нашего исследования ИК-спектры показали, что основные, проявленные на них полосы, относятся к валентным связям кислорода с кремнием и с водородом. Полоса поглощения $\sim 1450\text{ см}^{-1}$, соответствующая деформационным колебаниям групп OH . в вершинах кремнекислородных тетраэдров, является отличительной особенностью силикатов [6].

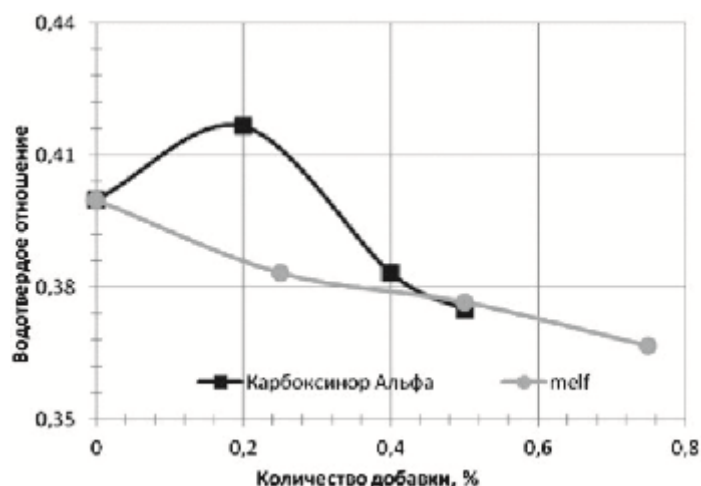


Рис. 6. Зависимость В/Т-отношения цеолитовой пасты от вида и количества модификатора

В связи с отсутствием четко фиксируемого абсорбционного явления химических добавок на цеолитовом порошке, т.е. предполагается, что добавки легко могут фиксироваться на цеолите, и так же просто выходить в водный раствор. Поэтому было важно оценить это проявление другим способом. Одним из таковых способов является

пластификация водно-минеральной системы. Поэтому была приведена оценка водоредуцирующей активности химических модификаторов (Melflux и Карбоксинор Альфа) в цеолите. Необходимым условием снижения водосодержания минеральных систем при сохранении подвижности смеси является использование добавок редуцирующего действия, которое непосредственным образом отразится на прочностных характеристиках цементного бетона. В связи с этим нами было проведено исследование по выявлению влияния добавок-разжижителей на изменение их реологических характеристик цеолито-водных паст. Результаты представлены на рис 5.

Как видно из рис. 6, высокоэффективные модификаторы поликарбоксилатной основы (Карбоксинор Альфа и melf) для цементных систем, оказались менее эффективными для цеолитового порошка. Добавка Melflux при всех исследованных дозировках равномерно снижает водопотребность цеолитовой пасты. Добавка Карбоксинор Альфа в цеолитовой пасте, введенной до 0,2 %, выступает стабилизатором, а увеличение ее количества снижает водопотребность пасты подобно добавке Melflux. Такое поведение добавки Карбоксинор Альфа вероятно связано с особенностью структуры цеолитового минерала – клиноптилолита и которое было зафиксировано ИК-методом.

Список библиографических ссылок

1. Колесник И.В., Саполетова Н.А. Инфракрасная спектроскопия. М. : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. С. 12–13.
2. Urban M. W. Infrared and Raman Spectroscopy and Imaging in Coatings Analysis, in Encyclopedia of Analytical Chemistry, Vol. 3, Meyers R. A., Wiley, Chichester, UK, 2012. P. 1756–1773.
3. Россихина Г. С., Щербакова Н. Н., Щедрин М. П. Использование метода ИК-спектроскопии при изучении процессов структурообразования низкоцементных бетонов // Стекло и керамика. 2010. № 5. С. 32–34.
4. Балабин Р. М. Создание экспресс-методов анализа показателей качества дистиллятных фракций основе методов колебательной спектроскопии. М. : РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2013. 110 с.
5. Коровкин М. В. Инфракрасная спектроскопия карбонатных минералов. Томск : Изд-во Томского политехнического университета. 2012. 80 с.
6. Гордеев А. С. Инфракрасная спектроскопия биологических жидкостей и тканей // Современные технологии в медицине. 2010. № 1. С. 84–98.
7. Maciejewska A. Application of infrared spectrometry (FT-IR) for mineral identification of asbestos in bulk samples. Medycyna Pracy. 2012. № 63. P. 181–189.
8. Villar A., Gorritxategi E., Aranzabe E., Fernandez S., Otaduy D., Fernandez L. A. Low-cost visible-near infrared sensor for on-line monitoring of fat and fatty acids content during the manufacturing process of the milk. 2012. № 135 (4). P 2756–2760.
9. Giacobbe C., Gualtieri A. F., Quartieri S., Rinaudo C., Allegrina M., Andreozzi G. B. Spectroscopic study of the product of thermal transformation of Chrysotile-Asbestos Containing Materials (ACM). Eur. J. Mineral. 2010. № 22. P. 535–546.
10. Морозова Н. Н. Модификация портландцемента цеолитсодержащей породой для получения смешанного вяжущего. Казань, 1997.
11. Строганов В. Ф., Амельченко М. О., Потапова Л. И. Влияние кислотной и термической активации каолина на его дисперсность, химический состав и сорбционные свойства // Известия КГАСУ. 2016. № 1 (35). С. 192–198.
12. Халиуллин М. И., Рахимов Р. З., Гайфуллин А. Р. Влияние комплексной модифицирующей добавки на состав, структуру и свойства искусственного камня на основе гипсового вяжущего // Известия КГАСУ. 2014. № 3. С. 148–155.
13. Морозова Н. Н., Хамза Абдулмалек Кайс. Эффективность цеолита из Египта в портландцементе // Вестник Казанского технологического университета. 2015, Т. 18, № 24. С. 62–65.

Hamza Abdulmalik Qais – post-graduate student

E-mail: hamza.qais@mail.ru

Potapova L.I. – candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: ludmilapo@mail.ru

Morozova N.N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: ninamor@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Studies of the interaction of chemical modifiers and a zeolite in an aqueous solution

Abstract

Problem statement. The aim of this work was to Study the interactions of additives of a polycarboxylate base with a natural zeolite in an aqueous solution.

Results. The paper presents the results of the study of the interaction of Carboxinor Alfa and Melflux 2651 F additives with a natural zeolite containing 75 % of clinoptilolite. The sorption properties of natural zeolites with respect to chemical additives that are highly effective in cement systems have been studied by IR-spectroscopy. Mobility of water-mineral pastes with and without chemical additives was investigated at the boundary of gravitational spreading during regulation of W/S ratio.

Conclusions. By the method of IR-spectroscopy it was found that the modification of natural zeolite additive Melflux 2651F appearance of additional bonds in the sample are not detected, while the additive Carboxine alpha clearly recorded on the surface of minerals of the zeolite powder. From the position of water-reducing actions polycarboxylate additives studied chemical bases proved to be less effective for powder of natural zeolite.

Keywords: IR-spectra, natural zeolite, Carboxine alpha, Melflux 2651 F, water requirement.

References

1. Kolesnik I. V., Sapoletova N. A. Infrared spectroscopy. M. : State University M.V. Lomonosov. 2011. P. 12–13.
2. Urban M. W. Infrared and Raman Spectroscopy and Imaging in Coatings Analysis, in Encyclopedia of Analytical Chemistry, Vol. 3, Meyers R. A., Wiley, Chichester, UK, 2012. P. 1756–1773.
3. Rossikhina G. S., Shcherbakova N. N., Shchedrin M. P. Use of the method of Infrared spectroscopy in the study of structure formation processes in low-strength concrete // Glass and ceramics. 2009. № 5. P. 32–34.
4. Balabin P. M. Creation of express methods for analysis of quality indicators of distillate fractions based on methods of vibrational spectroscopy. M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas. 2013. 110 p.
5. Korovkin M. V. Infrared spectroscopy of carbonate minerals. Tomsk : Publishing house of Tomsk Polytechnic University. 2012. 80 p.
6. Gordetsov A. S. Infrared spectroscopy of biological fluids and tissues // The latest technology in medicine. 2010. № 1. P. 84–98.
7. Maciejewska A. Application of infrared spectrometry (FT-IR) for mineral identification of asbestos in bulk samples. Medycyna Pracy 2012, № 63. P. 181–189.
8. Villar A., Gorritxategi E., Aranzabe E., Fernandez S., Otaduy D., Fernandez L. A. Low-cost visible-near infrared sensor for on-line monitoring of fat and fatty acids content during the manufacturing process of the milk. 2012. № 135 (4). P. 2756–2760.

9. Giacobbe C., Gualtieri A. F., Quartieri S., Rinaudo C., Allegrina M., Andreozzi G. B. Spectroscopic study of the product of thermal transformation of Chrysotile-Asbestos Containing Materials (ACM). *Eur. J. Mineral.* 2010, № 22. P. 535–546.
10. Morozova N. N. Modification of the zeolite containing rock Portland cement to obtain a mixed binder. Kazan, 1997.
11. Stroganov V. F., Chenko M. A., Potapova L. I. Influence of acid and thermal activation of kaolin on its dispersity, chemical composition and sorption properties // *Izvestiya KGASU* 2016. № 1 (35). P. 192–198.
12. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z., Gayfullin A. R. Influence of the complex modifying additive on the composition, structure and properties of an artificial stone on the basis of a gypsum binder // *Izvestiya KGASU*. 2014. № 3. P. 148–155.
13. Morozova N. N., Hamza Abdulmalik Qais. Efficiency of zeolite from Egypt in Portland cement // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, Vol. 18, № 24. P. 62–65.



УДК 69.055

Ибрагимов Р.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: rusmag007@yandex.com;

Антаков А.Б. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: antakof@mail.ru

Минахметова Л.Р. – студент

E-mail: liliya564@yandex.ru;

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Определение и сравнение норм времени при выполнении работ по монтажу металлической и композитной арматуры и изделий

Аннотация

Постановка задачи. В работе была поставлена задача выявить нормы времени на монтаж композитной арматуры при изготовлении строительных конструкций, таких как фундаменты и кирпичная кладка, с применением уже имеющихся норм времени на устройство металлической арматуры, а также применением двух методов расчета норм времени: расчетно-исследовательским и расчетно-аналитическим.

Результаты. В работе представлен анализ, сопоставление норм времени композитного армирования и металлического с использованием ЕНиР Сборник Е4. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Вып.1. Были проведены эксперименты по устройству кирпичной кладки с армированием металлической арматурой, композитной арматурой и геосинтетическим материалом, с фиксацией хронометража всех видов работ и были выделены нормы времени на монтаж композитной арматуры в зависимости от ее диаметра.

Выводы. Полученные данные позволят использовать их в подсчете норм времени, продолжительности строительно-монтажных работ с применением композитных материалов, которые будут давать конечный результат, более приближенный к фактическим нормам времени на монтажные работы.

Ключевые слова: композитное армирование, хронометраж, расчет норм времени.

С каждым годом на рынке строительного производства появляются и совершенствуются огромное количество материалов, при этом вытесняя привычные всем методы строительства. Композитное армирование нашло применение в последней трети прошлого столетия в таких странах как Германия, Япония и США. Однако в нашей стране внедрение в строительную отрасль такого материала как стекло- или базальтопластиковый композит произошло относительно недавно. Изготовление композитного армирования в производственных масштабах начало широко внедряться в 2000-х годах. И сейчас все больше с каждым годом композитная арматура находит применение в строительной отрасли, в различных строительных процессах. Ее преимуществами являются такие свойства как: малый вес, стойкость к различным средам агрессивного характера, существенно низкая теплопроводность относительно металлической арматуры, а основным ее плюсом является высокая прочность на разрыв.

Применение неметаллической (композитной) арматуры в строительстве является малоизученной отраслью науки, при этом повышенное внимание уделяется изучению ее технических характеристик. Такой исследовательской деятельностью занимались такие ученые как: М.М. Батдалов, Ю.О. Кустикова, В.И. Римшин, А.М. Уманский, В.Г. Хозин, и др. А такой значимый аспект, как нормативная база регламентирующая технологические аспекты по изготовлению и устройству арматурных изделий, монтажу композитной арматуры отсутствует. Поэтому задача разработки состава звена, норм времени по монтажу сетки каркасов из неметаллической (композитной) арматуры является актуальной [1].

По мнению авторов, важной задачей является разработка норм времени для композитной (не металлической) арматуры, с использованием анализа, позволяющего

связать композитное армирование с уже имеющейся нормативной базой на технологические процессы монтажа, с учетом применения металлической арматуры.

Нормы времени – это важный макроэлемент такого процесса, как планирование строительного производства. Грамотный и рациональный подход к строительству возможен лишь при опытной организации трудового процесса, основываясь на одно ключевое звено-нормирование [2, 3].

Под процессом нормирования понимается процедура формирования норм времени на выполнение технологического процесса (единицы работы).

В строительном производстве существуют два метода расчета норм времени:

- 1) Расчетно-аналитический;
- 2) Расчетно-исследовательский.

Расчетно-аналитический метод

Расчетно-аналитический метод – метод в основе которого заложен расчет нормативных значений, опирающийся на расчет уже имеющейся нормативной базы, характеристик, технологического процесса и режимов [4].

Формулу определения нормы времени можно представить в виде:

$$H_{ep} = t_{nz} + t_{on} + t_{об} + t_{отл} + t_{nm},$$

где H_{ep} – норма времени на единицу продукции;

t_{nz} – подготовительно-заключительное время;

t_{on} – оперативное время;

$t_{об}$ – время на обслуживание рабочего времени;

$t_{отл}$ – время на отдых и личные надобности;

t_{nm} – время перерывов, обусловленных технологией и организацией производственного процесса.

В связи с отсутствием нормативной базы на устройство композитного армирования, было принято решения о вероятности сопоставления монтажа композитной арматуры с металлическим армированием.

Было решено провести анализ норм времени металлического армирования, с раскрытием операционного процесса. Данные представлены в табл. 1. В качестве аналога рассматривались данные взятые из сборника Единые Нормы и Расценки Сборник Е4. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций (Е4-1-46).

Таблица 1

Пооперационное раскрытие всех видов работ

| Состав работ | Диаметр арматуры, мм | | | | |
|--|----------------------|------|------|------|------|
| | 18 | 25 | 28 | 36 | 40 |
| 1. Разметка расположений арматурных стержней и хомутов | 1,04 | 1,08 | 0,8 | 0,66 | 0,71 |
| 2. Укладка бетонных прокладок с закреплением | 2,7 | 0,75 | 0,75 | 0,44 | 0,25 |
| 3. Установка арматурных стержней в опалубку с установкой упоров для фиксации арматурных стержней | 3,4 | 3,6 | 1,79 | 2,45 | 2,54 |
| 4. Вязка узлов арматуры | 0,86 | 0,94 | 0,56 | 0,35 | 0,4 |
| Нормы времени | 8,0 | 5,6 | 3,9 | 3,9 | 3,9 |

По данным, приведенным в табл. 1 видно, что с увеличением диаметра арматуры нормы времени на монтаж уменьшаются. При этом наибольшее уменьшение зафиксировано в работе № 2 – укладка бетонных прокладок с закреплением, что связано с изменением количества стержней на 1 тонну различного диаметра арматуры.

Далее был произведен расчет норм времени на устройство металлического армирования, с учетом раскрытия видов работ на монтаж, на основе данных представленных организацией ПАО «КамГЭСЭнергоСтрой». Нормы времени рассчитаны на устройство металлического армирования в фундаментах мелкого заложения [4]. Для удобства подсчета было принято решение взять за расчетный образец стальную сетку размером 1000×1000 мм, шагом стержней 200 мм. Полученные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Расчет норм времени в зависимости от диаметра стержней
на изготовление сетки, выполненной из металлической арматуры**

| Состав работ | Диаметр арматуры, мм | | | | | |
|--|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 16 | 18 | 25 | 28 | 36 | 40 |
| 1. Разметка расположений арматурных стержней и хомутов | 0,0733 | 0,0733 | 0,0733 | 0,0733 | 0,0733 | 0,0733 |
| 2. Укладка бетонных прокладок с закреплением | 0,0278 | 0,0278 | 0,0278 | 0,0278 | 0,0278 | 0,0278 |
| 3. Установка арматурных стержней в опалубку с установкой упоров для фиксации арматурных стержней | 0,0222 | 0,0333 | 0,0938 | 0,0633 | 0,1978 | 0,2778 |
| 4. Вязка узлов арматуры | 0,0389 | 0,0389 | 0,0389 | 0,0389 | 0,0389 | 0,0389 |
| Нормы времени (чел/час) | 0,1622 | 0,1733 | 0,2338 | 0,2033 | 0,3378 | 0,4178 |

По данным табл. 2 видно, что норма времени при использовании арматуры диаметром 40 мм и арматуры диаметром 16 мм, с одинаковыми количественными параметрами, повышается в 2,5 раза. Предпочтительным является уменьшение диаметра арматуры для снижения трудоемкости строительных монтажных работ.

ПАО «КамГЭСЭнергоСрой» предоставило данные на монтаж композитного армирования, которые отражали фактическое время необходимое на монтаж конструкции. В связи с тем, что данные были не полные, было принято решение провести расчет времени, которое необходимо затратить на каждый вид работ.

Принимая во внимание то, что вес стержня, выполненного из композитных материалов значительно ниже веса металлической арматуры с учетом равнопрочной замены, было предположено, что весь состав работ будет иметь идентичные временные затраты, за исключением процесса № 3 – установка арматурных стержней в опалубку с установкой упоров для фиксации арматурных стержней (табл. 3). Расчетный образец № 2 был принят идентично металлической сетки, размером 1000×1000 мм, шагом 200 мм. Условие равнопрочной замены предоставлены заводом изготовителем ООО «Курский Завод Композитных Материалов» [5-7].

Таблица 3

**Расчет Норм времени в зависимости от диаметра на изготовление сетки,
выполненной из композитной арматуры (с учетом равнопрочной замены)**

| Состав работ | Диаметр арматуры, мм | | | | | |
|--|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 12 | 14 | 16 | 18 | 23 | 28 |
| 1. Разметка расположений арматурных стержней и хомутов | 0,0733 | 0,0733 | 0,0733 | 0,0733 | 0,0733 | 0,0733 |
| 2. Укладка бетонных прокладок с закреплением | 0,0278 | 0,0278 | 0,0278 | 0,0278 | 0,0278 | 0,0278 |
| 3. Установка арматурных стержней в опалубку с установкой упоров для фиксации арматурных стержней | 0,0111 | 0,0167 | 0,0469 | 0,0317 | 0,0989 | 0,1389 |
| 4. Вязка узлов арматуры | 0,0389 | 0,0389 | 0,0389 | 0,0389 | 0,0389 | 0,0389 |
| Нормы времени (чел/час) | 0,1511 | 0,1567 | 0,1869 | 0,1717 | 0,2389 | 0,2789 |

Как видно из расчетов (табл. 2-3), норма времени на процесс установки арматурных стержней в опалубку с установкой упоров для фиксации арматурных стержней существенно разнится. Исходя из этих данных, можно утверждать, что монтаж композитного армирования в масштабах крупной стройки значительно экономит время строительного-монтажных работ, а в следствии и снизит экономическую составляющую всего строительства в целом.

В табл. 4 наглядно продемонстрирована сравнительная характеристика норм времени на монтаж металлического армирования и нормы времени на строительного-монтажные работы по устройству композитного армирования.

Таблица 4

**Сравнительная таблица характеристик норм времени
при использовании металлической и композитной арматуры**

| № п/п | Условие замены металл/композит | Нормы времени МА на 1 м ² , чел/час | Нормы времени КА на 1 м ² , чел/час | -Δ*, % | Δ, чел/час |
|-------|--------------------------------|--|--|--------|------------|
| 1 | 16/12 | 0,1622 | 0,1511 | 6,849 | 0,0111 |
| 2 | 18/14 | 0,1733 | 0,1567 | 9,615 | 0,0167 |
| 3 | 25/16 | 0,2338 | 0,1869 | 20,057 | 0,0469 |
| 4 | 28/18 | 0,2033 | 0,1717 | 15,574 | 0,0317 |
| 5 | 36/23 | 0,3378 | 0,2389 | 29,276 | 0,0989 |
| 6 | 40/28 | 0,4178 | 0,2789 | 33,245 | 0,1389 |

Примечание*: -Δ, % – разница норм времени композитного армирования к нормам времени на монтаж армирования металлического, в процентном соотношении.

С учетом данных табл. 4 можно утверждать, что нормы времени на монтаж композитного армирования по трудозатратам намного меньше металлического и с увеличением диаметра требуемой композитной арматуры разница в необходимом времени на выполнение строительно-монтажных работ будет значительно увеличиваться, что указывает на экономию сроков выполнения строительных работ, и, следовательно, бюджета строительства.

Расчетно-исследовательский метод

Расчетно-исследовательский метод основан на суммарном анализе данных, которые выведены путем организации нормативного исследования.

К таким исследованиям относятся хронометраж, фото фиксация и совокупность обоих методов – фотохронометраж [4].

На базе испытательного центра «Татстройтест» совместно с магистрантом 2 года обучения на кафедре ЖБиКК КГАСУ Амировым А. под руководством к.т.н. Антакова А.Б., были сделаны опытные образцы каменных кладок сечением 380×380 мм, с высотой столба 1 м (14 рядов кладки). Все образцы каменной кладки были выполнены из кирпича М125 и раствора М150 (рис. 1).



Рис. 1. Образцы каменной кладки без армирования

Первые два столба были выполнены без какого-либо армирования. Поэтому такие виды работ как: резка арматурной сетки размером 360×360 мм и укладка армирования (сетки) учитываться не будут. Опытным путем было получено время выполнения СМР по возведению каменной кладки. Данные представлены в табл. 5.

Таблица 5

Хронометраж устройства кирпичной кладки

| № п/п | Наименование операций и процессов | Начало | Окончание | Продолжительность операций | | | |
|-------|-----------------------------------|--------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|------|
| | | | | Топ. раб. | | В том числе | |
| | | | | мин % | час % | Тп-з % | Тп % |
| 1 | Укладка ряда кирпичей | 8.00 | 8.38 | <u>29</u> 76 % | <u>0,48</u> 76 % | <u>5</u> 13,57 % | - |
| 2 | Укладка раствора | 8.00 | 8.38 | <u>9</u> 24 % | <u>0,15</u> 24 % | <u>1</u> 2,66 % | - |
| Итого | | | | <u>38</u> 100 % | <u>0,63</u> 100 % | <u>6</u> 15,78 % | - |

В табл. 5 $T_{оп. раб.}$ – продолжительность оперативной работы; $T_{п-з}$ – продолжительность подготовительных и заключительных работ; $T_{п}$ – продолжительность перерыва.

Из табл. 5 видно, что общая продолжительность операций составила 38 минут. Укладка кирпичей составила 76 % от общего времени (29 минут), а процесс укладки раствора составил 9 минут – 24 % от общего времени.

Третьим образцом каменной кладки стал элемент с композитным армированием (рис. 2). В качестве армирования использована арматура стеклопластиковая $\varnothing 2,5$ мм в составе сетки с размером ячейки 50×50 мм, и размером в плане 360×360 мм. Расчет хронометрии приведен в табл. 6.

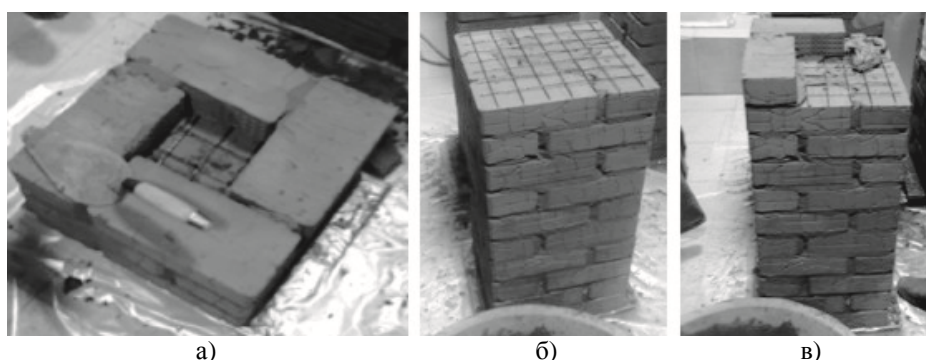


Рис. 2. Образцы каменной кладки с армированием:

а – выкладка ряда; б – укладка армирующей сетки; в – укладка последующего ряда

Таблица 6

Хронометраж устройства кирпичной кладки с композитным армированием

| № п/п | Наименование операций и процессов | Начало | Окончание | Продолжительность операций | | | |
|-------|---|--------|-----------|----------------------------|-----------------------|----------------------|------|
| | | | | Топ. раб. | | В том числе | |
| | | | | мин % | час % | Тп-з % | Тп % |
| 1 | Резка арматурной сетки размером 360×360 мм | 8.00 | 8.28 | <u>28</u> 100 % | <u>0,46</u> 100 % | <u>5</u> 17,85 % | - |
| 2 | Укладка ряда кирпичей | 8.29 | 9.18 | <u>30</u> 61,3 % | <u>0,5</u> 61,3 % | <u>4</u> 12,26 % | - |
| 3 | Укладка армирования (сетки) | 8.29 | 9.18 | <u>3</u> 6,1 % | <u>0,05</u> 6,1 % | <u>1</u> 2,03 % | - |
| 4 | Укладка раствора | 8.29 | 9.18 | <u>16</u> 32,6 % | <u>0,26</u> 32,6 % | <u>2</u> 4,075 % | - |
| Итого | | | | <u>77</u> 100 % | <u>1,27</u> 100 % | <u>12</u> 15,58 % | - |

Из табл. 6 видно, что общая продолжительность операций составила 1 час 18 минут. Значительную часть времени занял процесс резки арматурной сетки размером 360×360 мм – 28 минут, укладка кирпичей составила 30 минут, процесс укладка армирования(сетки) занял в общей сложности 3 минуты, а процесс укладки раствора составил 16 минут.

Четвертым образцом каменной кладки стал элемент с армированием стальными сетками. В качестве армирования была выбраны проволочные сетки из стержней В 500 Ø 3 мм в виде сетки с размером ячейки 70×70 мм, и размером в плане 360×360 мм. Расчет хронометража приведен в табл. 7.

Таблица 7

Хронометраж устройства кирпичной кладки с металлическим армированием

| № п/п | Наименование операций и процессов | Начало | Окончание | Продолжительность операций | | | |
|-------|--|--------|-----------|----------------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| | | | | Т _{оп. раб.} | | В том числе | |
| | | | | <u>мин</u> % | <u>час</u> % | <u>Тп-з</u> % | <u>Тп</u> % |
| 1 | Резка арматурной сетки размером 360×360 мм | 8.00 | 8.44 | <u>44</u> 100 % | <u>0,73</u> 100 % | <u>7</u> 15,9 % | - |
| 2 | Укладка ряда кирпичей | 8.45 | 9.42 | <u>31</u> 54,4 % | <u>0,51</u> 54,4 % | <u>6</u> 10,5 % | - |
| 3 | Укладка армирования (сетки) | 8.45 | 9.42 | <u>8</u> 14,0 % | <u>0,13</u> 14,0 % | <u>1</u> 1,75 % | - |
| 4 | Укладка раствора | 8.45 | 9.42 | <u>18</u> 31,6 % | <u>0,3</u> 31,6 % | <u>2</u> 3,5 % | - |
| Итого | | | | <u>101</u> 100 % | <u>1,67</u> 100 % | <u>16</u> 15,84 % | - |

По результатам табл. 7 видно, что общая продолжительность операций составила 1 час 42 минут. Значительную часть времени занял процесс резки металлической арматурной сетки размером 360×360 мм – 44 минуты, что на 16 минут больше, чем при резке сетки из композитного материала. Процесс укладки кирпичей составил 31 минуту, процесс укладки армирования (сетки) занял в общей сложности 8 минут, а процесс укладки раствора составил 18 минут.

Пятым образцом каменной кладки стал элемент с композитным армированием. В качестве армирования был выбран геотекстиль в виде сетки с размером ячейки 30×30 мм, и размером в плане 360×360 мм. Полученные данные приведены в табл. 8.

Таблица 8

Хронометраж устройства кирпичной кладки с армированием геосинтетическим материалом

| № п/п | Наименование операций и процессов | Начало | Окончание | Продолжительность операций | | | |
|-------|--|--------|-----------|----------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| | | | | Т _{оп. раб.} | | В том числе | |
| | | | | <u>мин</u> % | <u>час</u> % | <u>Тп-з</u> % | <u>Тп</u> % |
| 1 | Резка арматурной сетки размером 360×360 мм | 8.00 | 8.17 | <u>17</u> 100 % | <u>0,28</u> 100 % | <u>2</u> 11,76 % | - |
| 2 | Укладка ряда кирпичей | 8.18 | 9.00 | <u>29</u> 69,1 % | <u>0,48</u> 69,1 % | <u>4</u> 9,53 % | - |
| 3 | Укладка армирования (сетки) | 8.18 | 9.00 | <u>2,5</u> 5,9 % | <u>0,04</u> 5,9 % | <u>1</u> 2,36 % | - |
| 4 | Укладка раствора | 8.18 | 9.00 | <u>10,5</u> 25,0 % | <u>0,175</u> 25,0 % | <u>2</u> 4,76 % | - |
| Итого | | | | <u>59</u> 100 % | <u>0,975</u> 100 % | <u>9</u> 15,25 % | - |

По данным табл. 8 видно, что общая продолжительность операций составила 1 час 00 минут. Процесс резки геосинтетической арматурной сетки размером 360 x 360 мм составил 17 минут, что на 11 минут меньше, чем при резке сетки из композитного материала и на 27 минут меньше, чем при резке металлической сетки. Процесс укладки кирпичей составил 29 минут, процесс укладки армирования (сетки) занял в общей сложности 2,5 минуты, что в сравнении с другим армированием значительно меньше по трудозатратам, а процесс укладки раствора составил 10,5 минут.

Выводы

В работе проведено сопоставление норм времени выполнения композитного армирования и металлического с использованием сборников ЕНиР, пооперационное раскрытие работ с последующим детальным анализом.

По итогам исследования выявлено, что полученные нормы времени на монтажные работы композитной арматуры существенно отличаются от норм времени на монтаж металлической арматуры.

Расчетные данные показали, что с увеличением диаметра требуемой композитной арматуры разница в необходимом времени на выполнение строительно-монтажных работ будет значительно увеличиваться, что указывает на экономию сроков выполнения строительных работ, а, следовательно, и бюджета строительства в целом.

Так же было проведено экспериментальное сравнение по устройству кирпичной кладки, армированной металлической и композитной арматурой, геосинтетическим материалом, с фиксацией хронометража всех видов работ.

Выделены нормы времени на монтаж композитной арматуры. Полученные результаты позволят использовать их при определении норм времени, продолжительности строительно-монтажных работ с применением композитных материалов.

Список библиографических ссылок

1. Кустикова Ю. О. Исследование свойств базальтопластиковой арматуры и ее сцепления с бетоном // NSO-JOURNAL.RU: Строительство: наука и образование. 2014. № 1. Ст. 1. URL: http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2014/01/1_Kustikova.pdf (дата обращения: 12.04.2017).
2. Беловол В. В. Нормирование труда и сметы в строительстве. М. : Стройиздат, 1991. 169 с.
3. Ливитина В. В. Продолжительность строительного цикла: нормирование, измерение, сокращение // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 7. С. 58–59.
4. Анашко А. И., Страхова Т. В., Купцова Е. В. Методические рекомендации по проектированию и проверке технически обоснованных норм времени расчетно-исследовательским методом. М. : Центрогтруд, 2001. 64 с.
5. Теплова Ж. С., Киски С. С., Стрижкова Я. Н. Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9 (24). С. 49–70.
6. Пашуто В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии. М. : КНОРУС, 2007. 320 с.
7. Климов Ю. А. Современная композитная базальтовая арматура для армирования бетонных конструкций // Строительные материалы, изделия и санитарная техника. – Киев, 2010. С. 16-19
8. Abashidze G. S., Marquis F. D. S., Chikhradze N. M. Basaltreinforcedplastics: Someoperatingproperties // TransTechPublications, Switzerland. Materials Science Forum. 2007. Vol. 561-565. P. 671–674.
9. Bolotin S., Birjukov A. Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work // World Applied Sciences Journal. Vol. 23. 2013. P. 1–4.
10. Kerzner H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. NewYork : JohnWiley&Sons, 2003. 891 p.

Ibragimov R.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: rusmag007@yandex.com

Antakov A.B. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: antakof@mail.ru

Minakhmetova L.R. – student

E-mail: liliya564@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The determination and comparison of time limits for installation works using metal and composite rebar

Abstract

Problem Statement. The task was to identify the time norms for the installation of composite reinforcement in the manufacture of building structures such as foundations and brickwork, using the existing time standards for the installation of metal fittings, as well as using two methods of calculating time norms: the calculation and research and calculation-Analytical.

Results. The paper presents analysis, comparison of time norms of composite reinforcement and metal using ENiR Collection E4. Installation of prefabricated and monolithic reinforced concrete structures. Issue 1. Experiments were carried out on the construction of brickwork with reinforcement by metal armature, composite reinforcement and geosynthetics, fixing the timing of all types of work, and time limits were set for the installation of composite reinforcement, depending on its diameter.

Conclusions. The obtained data will allow to use them in calculating time limits, the duration of construction works with the use of composite materials that will give the end result more close to the actual standard time in the construction works.

Keywords: composite reinforcement, duration, calculation of standard time.

References

1. Kustikova Yu. O. Investigation of the properties of basalt plastic reinforcement and its adhesion to concrete // NSO-JOURNAL.RU : Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2014. № 1. St. 1. URL: http://www.nso-journal.ru/public/journals1/issues/2014/01/1_Kustikova.pdf (reference date: 12.04.2017).
2. Belovol V. V. Normirovanie truda i smety v stroitel'stve. M. : Strojizdat, 1991. 169 p.
3. Livitina V. V. Duration of the construction cycle: rationing, measurement, reduction // Stroitelnye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2004. № 7. P. 58–59.
4. Anashko A. I., Strahova T. V., Kupcova E. V. Methodical recommendations on the design and verification of technically justified time norms by the calculation and research method. M. : Centrogtrud. 2001. 64 p.
5. Teplova Zh. S., Kiski S. S., Strizhkova Ya. N. Fiberglass reinforcement for reinforcement of concrete structures // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2014. № 9 (24). P. 49-70.
6. Pashuto V. P. Organization, rationing and remuneration of labor in the enterprise. M. : KNORUS, 2007. 320 p.
7. Klimov Yu. A. Modern composite basalt reinforcement for the reinforcement of concrete structures // Stroitelnye materialy, izdeliya i sanitarnaya tekhnika. Kiev, 2010. P. 16–19.
8. Abashidze G. S., Marquis F. D. S., Chikhradze N. M. Basalt reinforced plastics: Some operating properties // Trans Tech Publications, Switzerland. Materials Science Forum. 2007. Vol. 561-565. P. 671–674.
9. Bolotin S., Birjukov A. Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work // World Applied Sciences Journal. Vol. 23. 2013. P. 1–4.
10. Kerzner H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. New York : JohnWiley&Sons, 2003. 891 p.

УДК 69.055

Имайкин Д.Г. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: imaykindg@mail.ru

Ибрагимов Р.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: rusmag007@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Анализ нормативных требований к разработке проектов организации строительства и их влияние на качество проектной документации

Аннотация

Постановка задачи. В статье приведен анализ нормативных требований к разработке проектов организации строительства и выявлено их влияние на качество проектной документации.

Результаты. В результате анализа выявлено, что руководство строительной отрасли в лице министерств, ведомств и других органов должно организовать работу по обновлению базы данных нормативов, рекомендаций и показателей для разработки проектов организации строительства. В связи с этим, повышение качества проектной документации в разделе организации строительства является одной из первоочередных задач повышения качества и снижения затрат на строительство в целом по стране.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что существующие правила и нормативы для разработки проектной документации по разделу организации строительства не в полной мере отвечают требованиям повышения качества проектно-сметной документации на современном этапе развития строительной отрасли. Разработка проектов производства работ по глубине проработки деталей и особенностей строительства для каждого конкретного условий строительства находится на более высоком качественном уровне.

Ключевые слова: проект организации строительства, качество строительства, проектная документация, нормативные требования.

Современное проектирование зданий, сооружений и линейных объектов включает в себя проект организации строительства, который необходим для получения разрешения на строительство, привлечения инвесторов, открытия финансирования, определения сроков строительства, потребных ресурсов, размера и расположения земельного участка и взаимодействия со всеми заинтересованными организациями [1-3].

Минимально необходимый набор требований и вопросов, которые должны быть отражены в проектной документации, представлен в Постановлении Правительства РФ от 16 февраля 2008 года № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

Кроме того, в состав проектной документации по организации строительства по требованию соответствующих контролирующих органов могут и должны включаться смежные вопросы, например:

- по требованию СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» в проектной документации по организации строительства в соответствии с Приложением Ж должны быть выявлены и указаны зоны действия опасных факторов;

- по требованию Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ, в проектной документации отражаются вопросы безопасности населения, окружающей среды и участников строительства;

- по требованию санэпиднадзора должны отражаться вопросы безопасной утилизации отходов, образующихся при демонтажных работах, утилизации продуктов жизнедеятельности участников строительства и другие вопросы, и другие требования.

Одним из требований к проектам организации строительства является разработка решений на основе сравнения вариантов различных способов и средств строительства. Данное требование отражено в СП 48.13330.2011 «Организация строительства», Градостроительном кодексе РФ и других документах. Сравнение и выбор вариантов организации строительства производится по ценовым показателям. Затраты на строительство подсчитываются в сметной документации с учётом состава и объёмов работ, применяемых материалов и конструкций, а также перечня и характеристик применяемых машин и механизмов. Проектная документация направляется на экспертизу в организации, уполномоченные выдавать экспертные заключения по соответствующим разделам. Особо ответственные объекты и объекты, возводимые с использованием бюджетных средств, направляются на государственную экспертизу [4-6].

В современных условиях строительства выбор подрядчика, если исключить случаи сговора, производится в большинстве случаев при условии минимальных капитальных вложений на строительство. При этом не анализируется, как подрядчик достигнет заявленных им затрат на строительство. Участие в тендерах и конкурсах подрядных организаций и необходимость для них минимизации стоимости строительства часто приводит к тому, что участники конкурса, пользуясь отсутствием должного контроля, сознательно занижают заявленную стоимость строительства, и в дальнейшем либо в процессе строительства добиваются увеличения стоимости, либо используют более дешёвые некачественные материалы и «экономят» на качестве строительно-монтажных работ. В результате у нас появляются «обманутые дольщики», дома, требующие капремонта сразу после сдачи их в эксплуатацию и прочие негативные явления.

В составе проекта организации строительства в обязательном порядке разрабатывается календарный план строительства в форме распределения затрат на строительство по временным периодам, указанной в методических рекомендациях МДС 12-46.2008 «Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства, проекта организации работ по сносу (демонтажу), проекта производства работ». В настоящее время отсутствуют какие-либо нормативы и правила по составлению таких календарных планов, за исключением СНиП 1.04.03-85 «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений», в которых распределение капвложений по периодам строительства предписывается по основным объектам строительства. Данный СНиП, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил)», в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», не входит в перечень обязательных для применения правил и нормативов. Следовательно, разработка календарных планов в проектах производства работ не отражает конкретных условий строительства, технических и финансовых возможностей подрядных организаций, и находится всецело в ведении проектной организации органов экспертизы проектной документации [7-9].

Также в составе проекта организации строительства должны быть представлены организационно-технологическая схема и технологическая последовательность производства работ.

Организационно-технологическая схема строительства группы зданий и сооружений в составе предприятия (очереди, пускового комплекса) или микрорайона (жилого комплекса) устанавливает очередность строительства основных объектов, объектов подсобного и обслуживающего назначения, энергетического и транспортного хозяйства и связи, наружных сетей и сооружений водоснабжения, канализации, теплоснабжения и газоснабжения, а также благоустройства территории в зависимости от технологической схемы производственного процесса промышленного предприятия, особенностей строительных решений его генерального плана (характера распределения объёмов работ в зависимости от типа объекта – сосредоточенного, линейного, территориально-разрозненного, смешанного) и объёмно-планировочных решений основных зданий и сооружений (однородные, неоднородные объекты), а также условий строительства или реконструкции [10-11].

Организационно-технологические схемы возведения отдельных зданий и сооружений устанавливают последовательность их возведения (сооружений) по частям (узлам, секциям, пролетам, ячейкам, ярусам, этажам, производственным участкам, цехам и т.д.) в зависимости от технологической схемы производственного процесса, размещаемого в данном здании (сооружении), или другой функциональной схемы, объемно-планировочных и конструктивных решений, а также принятых методов (технологических схем) производства работ.

Целью разработки организационно-технологической схемы является сокращение сроков строительства всего комплекса зданий и сооружений.

Методика составления организационно-технологических схем приведена в справочном пособии к СНиП 3.01.01-85 «Разработка проектов организации строительства и проектов производства работ для промышленного строительства», разработанного ЦНИИОМТП Госстроя СССР в 1989 году. Данное пособие не является обязательным к применению при разработке проекта организации строительства. При детальном ознакомлении с приведенной методикой можно сделать вывод, что в ней дается только описание возможных последовательностей выполнения работ при строительстве отдельных зданий или комплексов зданий и не приводится обоснований, рекомендаций или указаний, каким образом различные схемы могут влиять на сокращение сроков строительства. В частности, в пособии узловой метод рекомендуется применять, как наиболее адаптированный для промышленного строительства. Дается определение узла как обособленной единицы строительства или реконструкции объекта, но не приводится принципов и критериев определения комплексных характеристик для разработчиков проектов организации строительства. Также не содержится никаких указаний, рекомендаций и методик, как экономические показатели строительства могут повлиять на выбор организационно-технологической схемы строительства. Известно, что на стоимость строительства (как и в любой другой отрасли материального производства) влияет соотношение затрат к объему выпущенной продукции в денежном выражении. Очевидно, что на рыночную стоимость готового объекта строительства выбор схемы строительства влиять не может (например, стоимость квадратного метра жилья определенного качества и месторасположения не зависит от того, сколько строительная организация потратила средств на его возведение), следовательно, целью обоснования выбора организационно-технологической схемы является снижение затрат на строительство. Снижение затрат без ущерба качеству строительства возможно только применением более производительных способов и средств строительства, применения более современной техники и материалов, снижения простоев и непроизводительных расходов, совмещение по времени выполнения различных процессов (при наличии технической возможности), снижением сроков строительства. Не приводится указаний и разъяснений, какое принципиальное отличие организационно-технологическая схема имеет от технологической последовательности производства работ, что приводит к фактическому повторению одних и тех же сведений в двух разделах пояснительной записки в значительной части проектов организации строительства.

Наиболее приближенным к реальным условиям строительства, видимо, следует считать составление календарного графика в линейной или сетевой форме, изложенной для разработки проектов производства работ. В данном графике возможно контролировать максимальное количество рабочих, максимально интенсивное потребление энергоресурсов, время работы техники и освоение капложений в максимально благоприятном режиме строительства. Календарный график строительства в наглядной форме представляет полную картину выполнения строительных работ, поставки стройматериалов и конструкций, сроки работы строительной техники. Также возможно корректировать календарный график в случае возможных задержек, несоблюдения сроков поставок материалов, конструкций, комплектующих и пр.

На основе календарного графика строительства также возможно оптимизировать использование территории стройплощадки. Это позволит уменьшить размер арендных платежей территории, снизив тем самым общую стоимость строительства. Еще более актуально это решение для стесненных условий строительства, когда площадь отведенной под стройплощадку территории меньше положенной по нормативам. В этом случае в

соответствии с календарным графиком производства работ, можно оперативно производить перемещения различных временных объектов строительного производства:

- перемещать дорожные плиты, изменяя конфигурацию временных дорог для более удобного подъезда транспортной техники;
- перемещать временные инвентарные здания для рабочих, складские здания из зоны работы грузоподъемной техники на данном участке;
- оперативно менять расположение площадок для временного складирования материалов, конструкций, оборудования, стоянок техники и пр.

Существующие на сегодняшний день программы и методики, основанные на прогрессивных разработках, позволяют в составе оптимизации строительства решать и более широкие задачи, выходящие за рамки традиционных методик разработки проектов организации строительства. Например, программа Microsoft Project является достаточно универсальным инструментом в области календарного планирования. С помощью данного инструмента возможно формирование не только постоянных, так называемых аннуитетных, денежных потоков, но и потоков переменных конфигураций. В частности, для их моделирования могут быть использованы различные ресурсные профили. Эти особенности целесообразно использовать в случае, если имеется надежная маркетинговая информация об изменении арендных ставок, тарифов на коммунальные платежи, прогресс в налогообложении, динамика изменения закупочных цен на материалы и конструкции, влияние курса валют и т.п.

В Постановлении № 87 в составе проекта производства работ предписывается обоснование потребности строительства в основных строительных машинах, механизмах, транспортных средствах. Определение технических характеристик машин, механизмов и оборудования производится без детализации критериев отбора. Например, выбор грузоподъемного оборудования производится по грузоподъемности, высоте подъема груза, вылету крюка и габаритам машины во время работы (включая размеры зоны безопасности около движущихся частей машин). В литературе отсутствует перечень машин и механизмов, рекомендуемых для использования в строительстве, и разработчики проектной документации используют информацию из рекламных объявлений фирм-производителей или продавцов техники. Данная информация не содержит в достаточном количестве данных для адекватного сравнения различных марок машин. Расчет себестоимости работы машин производится по сметным нормативам, не учитывающим технические особенности, которые могут повлиять на производительность этих машин в различных конкретных условиях строительства. Разработчики проектов организации строительства произвольным образом указывают марки машин, механизмов и оборудования из доступного им перечня и, в лучшем случае, делают приписку, что «указанные марки машин и механизмов не являются обязательными и могут быть заменены на другие, с аналогичными характеристиками». Данная оговорка позволяет подрядчикам в процессе строительства применять машины с более высокими характеристиками, чем было указано в ПОСе и на основе этого увеличивать затраты на использование техники. В конечном итоге это ведет к общему удорожанию, увеличению времени строительства и другим негативным последствиям.

Очевидно, что возможность использования базы данных по строительной технике у вероятных подрядчиков строительства позволило бы разработчиков проектов организации строительства более достоверно оценить затраты на использование техники для планирования капвложений, сроков строительства, состава организационных мероприятий (например, доставки тяжелой сверхгабаритной техники на стройплощадку по дорогам общего пользования).

Одним из наименее проработанных вопросов является определение на стадии разработки ПОС потребности в потребных ресурсах, включающих в себя энергоресурсы (электроэнергию, ГСМ, сжатый воздух, пар и другие), количество работающих, количество временных зданий и сооружений, площади складирования и пр.

Подсчет количества энергоресурсов может быть проведено 2 способами:

1. Определение количества ресурсов по нормативным показателям – «Расчетным нормативам для составления проектов производства работ». Нормативы составлены для 1970 года и потребные ресурсы определяются в расчете на 1 млн. руб. капвложений. Недостатком данного способа является то, что для подсчета количества ресурсов

необходимо определить сметную стоимость строительства в ценах 1969 года и по нормативам подсчитать потребное количество ресурсов. Адекватность такого подхода применительно к современным условиям вызывает очень большие сомнения, так как:

1) нормативы были разработаны более 50 лет назад, в условиях плановой социалистической экономики, когда ресурсы распределялись централизованно, в соответствии с государственными планами развития;

2) нормативы разрабатывались на основе финансовых результатов строительства конкретных объектов, зачастую одного конкретного объекта, что не отражает всего возможного многообразия условий строительства;

3) проекты разрабатывались в подавляющем большинстве случаев без проработки и оценки различных вариантов строительства, что создает возможность значительного разброса показателей для различных исполнителей и условий строительства.

2. Расчет потребных ресурсов произвести в соответствии с МДС 12-46.2008 «Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства, проекта организации работ по сносу (демонтажу), проекта производства работ». В частности, определение количества энергетических ресурсов производится для периода максимального количества одновременной работы потребителей ресурсов. В рекомендациях не приводится методики или указаний по определению такого количества применительно для проектов организации строительства. Очевидно, что одновременное потребление ресурсов может осуществляться при совмещении по времени выполнении различных работ различными бригадами. При соблюдении требований нормативной документации по организации строительства не представляется возможным на стадии выполнения проекта организации строительства достаточно адекватно подсчитать количество одновременно работающих потребителей ресурсов, так как это обуславливается количеством рабочих необходимой квалификации, наличием достаточного количества машин и оборудования подрядной организации. При разработке разделов организации строительства в проектной документации проектировщики в большинстве случаев используют данные подрядных организаций, которые претендуют на выполнение строительства или реконструкции данного объекта. Такой подход в большинстве случаев крайне негативно воспринимается государственной экспертизой проектной документации и эксперты требуют исключить ссылку на конкретных исполнителей работ. У разработчиков проектной документации по разделу организации строительства нет никаких аргументов для обоснования своих решений и приходится соглашаться с мнением экспертов.

Наиболее обосновано определить динамику расхода потребляемых энергетических ресурсов возможно с использованием календарного графика строительства. Например, потребляемая суммарная мощность электроэнергии на данный конкретный момент времени складывается из мощностей работающей с данным момент техники, освещения территории строительства, обогрева бытовок, прогрева бетона зимой и пр. Календарный график работ предоставляет возможность непосредственно подсчитать суммарную потребляемую мощность в данный конкретный момент времени, а также корректировать время начала и окончания отдельных видов работ, если потребляемая мощность превышает отведенные для данного строительства лимиты или поставщик энергоресурсов не может поставлять их в желаемых для подрядчика размерах.

Необходимость отразить «перечень требований, которые должны быть учтены в рабочей документации, разрабатываемой на основании проектной документации, в связи с принятыми методами возведения строительных конструкций и монтажа оборудования» (п. 23, Постановления № 87 «О составе разделов проектной документации...») в разделе 6 «Проект организации строительства» требует разъяснений и указаний, по каким критериям необходимо определять – какие требования должны отражаться. В большинстве проектов организации строительства в данном пункте указывается, что все работы ведутся по стандартным методам, в соответствии с существующими нормами и правилами, и поэтому разработки данного пункта не требуется. Видимо, данный пункт необходимо дополнить указанием, что это требование касается случаев применения нестандартных, решений по производству работ, разработки нового оборудования и технологии, использования новых научных и инженерных разработок, которые не имеют опыта внедрения на других объектах.

Выводы

Можно сделать вывод, что существующие правила и нормативы для разработки проектной документации по разделу организации строительства не в полной мере отвечают требованиям повышения качества проектно-сметной документации на современном этапе развития строительной отрасли. Разработка проектов производства работ по глубине проработки деталей и особенностей строительства для каждого конкретных условий строительства находится на более высоком качественном уровне.

Для повышения качества проектно-сметной документации по разделу организации строительства, повышения качества и снижения затрат строительства целесообразно было бы на законодательном уровне установить состав проектной документации по организации строительства в том же составе, что и проекты производства работ, разрабатываемой для конкретной организации (или нескольких организаций), претендующей на победу в конкурсе выбора подрядчиков. Оценивать представленные варианты производства работ и выбирать наиболее подходящий должен заказчик на основе заключения экспертизы по каждому представленному на конкурс проекту. Представленные на конкурс проектные решения должны быть общедоступными для заказчиков и исполнителей строительства, а также для широкого круга контролирующих и надзорных органов. Должен быть обеспечен доступ к представленным проектам организации строительства до принятия решения о победителе в конкурсе, чтобы конкурсная комиссия могла рассмотреть и учесть замечания, рекомендации и пожелания всех заинтересованных сторон. Общедоступность к предложенным проектным решениям, с одной стороны, позволит широкому кругу разработчиков проектной документации, строителей и других заинтересованных лиц использовать наиболее прогрессивные технические и организационные решения в дальнейшей работе; с другой стороны – исключать неправомерное использование третьими лицами интеллектуальной собственности разработчиков проектной документации, патентообладателей и пр.

Руководство строительной отрасли в лице министерств, ведомств и других органов должно организовать работу по обновлению базы данных нормативов, рекомендаций и показателей для разработки проектов организации строительства. В настоящее время эта работа ведется на достаточно высоком уровне только для составления сметной документации на строительство. Но сметная документация опирается в первую очередь – на технические и организационные решения строительства зданий и сооружений. Поэтому повышение качества проектной документации в разделе организации строительства является одной из первостепенных задач повышения качества и снижения затрат на строительство в целом по стране.

Список библиографических ссылок

1. Емельянов О. Н., Самусенкова М. С. Анализ результатов экспертизы проектов производственных объектов ОАО «Газпром» в части условий и охраны труда // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2013. № 2 (13). С. 147–151.
2. Имайкин Д. Г., Ибрагимов Р. А. Совершенствование технологии бетонирования монолитных конструкций // Известия КГАСУ. 2017. № 1 (39). С. 250–256.
3. Имайкин Д. Г., Ибрагимов Р. А. Исследование факторов, влияющих на срок службы тентовых строительных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 14. С. 120–123.
4. Туманов Д. К. Современные системы управления и организации строительства для совершенствования проектов организации строительства (ПОС) // Технология и организация строительного производства. 2013. № 3 (4). С. 30–32.
5. Король С. П. Управление проектами в организациях жилищного строительства в региональном строительном комплексе // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2015. № 1 (41). С. 31–42.
6. Лаптев А. А. Организация процесса управления проектами строительства объектов магистральных трубопроводов с применением экспертных технологий // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2006. № 1. С. 125–125.

7. Mgalobelov Yu. B. Advanced techniques in designing and building concrete dams // Hydrotechnical Construction. Vol. 34. № 8-9. 2000. P. 415–422.
8. Тисецкая О. Ю. Экономическая эффективность основных технологий строительной индустрии // Экономика. Управление. Право. 2012. № 12-2 (36). С. 49–55.
9. Dolgikh R. A., Rapoport O. L. Induction heating of concrete floor at monolith building: Modern Techniques and Technologies MTT' 2005 proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists / Tomsk Polytechnic University. 2005. P. 96–97.
10. Kiyants A. V. The negative temperature impact on hardening of magnesia composites // Materials Science Forum. 2016. V. 843. P. 91–95.
11. Pinto R. C. A., Schindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // Cement and Concrete Research. 2010. V. 40. № 1. P. 58–65.

Imaykin D.G. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: imaykindg@mail.ru

Ibragimov R.A. – 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

Analysis of regulatory requirements for the development of construction projects and their impact on the quality of project documentation

Abstract

Problem statement. The article provides an analysis of regulatory requirements for the development of construction projects and their impact on the quality of design documentation.

Results. The analysis revealed that the management of the construction industry, in the person of ministries, departments and other bodies, should organize work on updating the database of standards, recommendations and indicators for the development of construction projects. In this regard, improving the quality of design documentation in the construction organization section is one of the primary objectives of improving the quality and reducing construction costs in the country as a whole.

Conclusions. As a result of the conducted studies it was established that the existing rules and regulations for the development of project documentation for the construction organization section do not fully meet the requirements for improving the quality of design estimates at the current stage of the development of the construction industry. The development of projects for the production of works on the depth of elaboration of details and construction features for each specific construction conditions is at a higher quality level.

Keywords: project of construction organization, quality of construction, project documentation, regulatory requirements.

References

1. Emelyanov O. N., Samusenkova M. S. Analysis of the results of the examination of projects of OAO Gazprom's production facilities in terms of labor conditions and safety // Nauchno-tehnicheskiy sbornik Vesti gazovoy nauki. 2013. №. 2 (13). P. 147–151.
2. Imamkin D. G., Ibragimov R. A. Improving the technology of concreting monolithic structures // Izvestiya KGASU. 2017. №. 1 (39). P. 250–256.
3. Imaykin D. G., Ibragimov R. A. A study of factors affecting the service life of tent construction materials // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. V. 18. 2015. № 14. P. 120–123.
4. Tumanov D. K. Modern management systems and organization of construction for the improvement of construction projects (POC) // Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. 2013. №. 3 (4). P. 30–32.

5. King S. P. Project management in housing construction organizations in the regional construction complex // *Regional economy and management: electronic scientific journal*. 2015. № 1 (41). P. 31–42.
6. Laptev A. A. Organization of the project management process for the construction of main pipeline facilities using expert technologies // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz*. 2006. № 1. P. 125–125.
7. Mgalobelov Yu. B. Advanced techniques in designing and building concrete dams // *Hydrotechnical Construction*. Vol. 34. № 8-9. 2000. P. 415–422.
8. Tisetskaya O. J. Economic efficiency of the core technology of the construction industry // *Ekonomika. Upravleniye. Pravo*. 2012. № 12-2 (36). P. 49–55.
9. Dolgikh R. A., Rapoport O. L. Induction heating of concrete floor at monolith building: Modern Techniques and Technologies MTT' 2005 proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists / Tomsk Polytechnic University. 2005. P. 96–97.
10. Kiyanets A. V. The negative temperature impact on hardening of magnesia composites // *Materials Science Forum*. 2016. V. 843. P. 91–95.
11. Pinto R. C. A., Schindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // *Cement and Concrete Research*. 2010. V. 40. № 1. P. 58–65.

УДК. 621.01

Мудров А.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Alexmudrov42@rambler.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

О новых классификационных группах пространственных смесителей

Аннотация

Постановка задачи. Развитие барабанных (емкостных) смесителей начиналось с использования простого вращательного движения, применения различных геометрических форм емкости, наклона ее оси к оси вращения, использование на внутренних поверхностях различных элементов и т.п. Далее стали использовать сложное движение посредством второго источника привода, вращение с неравномерной скоростью, пространственное движение. Признано, что эффективность процессов в емкости достигается сложным ее движением с неравномерной скоростью. Но реализация такого движения затруднена из-за сложности конструкций механических устройств.

Поставлена задача – разработать простые конструкции смесителей, отвечающие современным требованиям обработки материалов в различных процессах.

Результаты. Предложено семь новых классификационных групп пространственных смесителей, в структурном составе которых только вращательные шарниры, с числом подвижных звеньев от трех до шести, включая емкость, совершающая сложное неравномерное движение от одного источника привода во всех группах смесителей. Все смесители защищены 36 авторскими свидетельствами на изобретения.

Выводы. Создано новое научное направление в конструировании пространственных смесителей только с вращательными шарнирами, обладающими широкой многофункциональностью: смешивание различных материалов без ограничений, поверхностную обработку деталей, очистку и мойку изделий, дробление и измельчение и т.п. без переналадки. Во всех устройствах обрабатываемый материал получает дополнительное силовое инерционное воздействие к основному турбулентному движению, интенсифицируя тем самым процесс обработки с улучшением качества конечного продукта.

Ключевые слова: шарниры вращательные, пространственные смесители, емкости, инерционные силы, интенсификация, классификационные группы.

Введение

Перемешивание материалов – один из распространенных процессов во многих отраслях народного хозяйства, осуществляемый механическими устройствами, смесителями и аппаратами с мешалкой.

Большим недостатком существующих конструкций является длительность процесса, неудовлетворительное качество готового продукта, узкая функциональная применимость, т.е. в одной конструкции нельзя одинаково эффективно проводить разные процессы, например, перемешивание, галтовку и полировку деталей, шлифование семян, дробление материалов, мойку и очистку изделий и т.д. [1, 2].

В связи с появлением фермерских и мелкотоварных хозяйств возникла необходимая потребность и в новой технике для них, небольших по объему, но широкоуниверсальных и эффективных по использованию в разных производственных процессах, пока такой техники нет.

В последние годы для интенсификации процесса перемешивания стали использовать сложное движение, вращение с переменной угловой скоростью и сложное неравномерное движение рабочих органов и емкостей. Однако существующие конструкции сложны, имеют несколько источников привода, малый ресурс работы из-за наличия шаровых шарниров, исследования и разработки таких устройств пока малочисленны, нет теории создания смесителей, сведений о внедрении в производство, нет классификационных групп пространственных устройств.

Объясняется это трудностью и сложностью образования пространственных устройств, в особенности имеющих в составе только вращательные шарниры.

Таким образом, создание новых высокоэффективных универсальных перемешивающих устройств является актуальной и необходимой задачей. Это еще более актуально потому, что сфера их применения и использования широка и охватывает самые разные отрасли народного хозяйства.

Работа входила в Координационный план научно-исследовательских работ АН СССР по проблеме «Теория машин и система машин» (1.11.1) раздел 1.11.1.1 «Разработка методов определений оптимальных параметров и создание конструкций смесителей для приготовления комбикормов и микроудобрений».

Основная часть

В течение последних нескольких лет казанскими учеными под руководством профессоров Б.В. Шитикова и П.Г. Мудрова разработано новое научное направление в теории пространственных механизмов, содержащие в составе только вращательные шарниры. На базе этих механизмов созданы новые конструкции самого разного назначения [3, 8].

Учитывая перспективность и эффективность смесителей со сложным пространственным движением, нами поставлена задача – разработать конструкции смесителей, которые были бы просты, надежны и эффективны в работе. Создать классификационные группы смесителей только на базе новых пространственных механизмов с вращательными шарнирами.

В основу разработок приняты: пространственный базовый модуль в трех модификациях, его объединения, приемы комплексного метода поиска решений технических проблем, способы перемешивания [4].

Кроме того, использованы основы теории создания аппаратов с мешалкой, результаты их кинематического исследования, показатели основных критериев технических систем [3].

Разработка смесителей начата с использования базового модуля с более 30 вариантами схем как скелетной основы смесителей. Модуль имеет три подвижных звена и стойку (станина). Противолежащие звенья модуля имеют одинаковые параметры: углы скрещивания и кратчайшие расстояния, при этом отношения кратчайших расстояний равно отношению синусов углов противолежащих звеньев.

В первую группу отнесены одноемкостные смесители, у которых одно из малых звеньев базового модуля принято неподвижным (стойкой), а на пальце второго малого звена консольно закреплена емкость (рис. 1а, верхний) [7, 8].

При таком расположении звеньев модуля емкость совершает сложное пространственное неравномерное движение, характер которой можно менять значениями углов скрещивания, длинами звеньев и частотой вращения емкости.

Расширены эксплуатационные возможности смесителя путем постановки вовнутрь емкости дополнительного вала с лопастями, являющимся продолжением пальца и второго рабочего вала, оба вала скрещены под углом, что увеличивает объем их воздействия на компоненты.

Предложены два варианта усложнения движения емкости дополнительным вращением или возвратно-вращательным движением неподвижного звена относительно стойки (рис. 1а, нижний). Емкость имеет кроме планетарного движения еще вращательное движение относительно стойки,

Выявлено и образовано множество конструктивных вариантов консольных смесителей (на базе трех типов базовых модулей: варианты параллелограммного, антипараллелограммного и промежуточного типов).

Опираясь на приемы комплексного метода поиска решений и базовый модуль, разработана вторая группа смесителей – многоемкостные консольные (рис. 1б). Здесь образовано пять направлений разработки с наличием 2, 3 и 4 емкостей в одной конструкции.

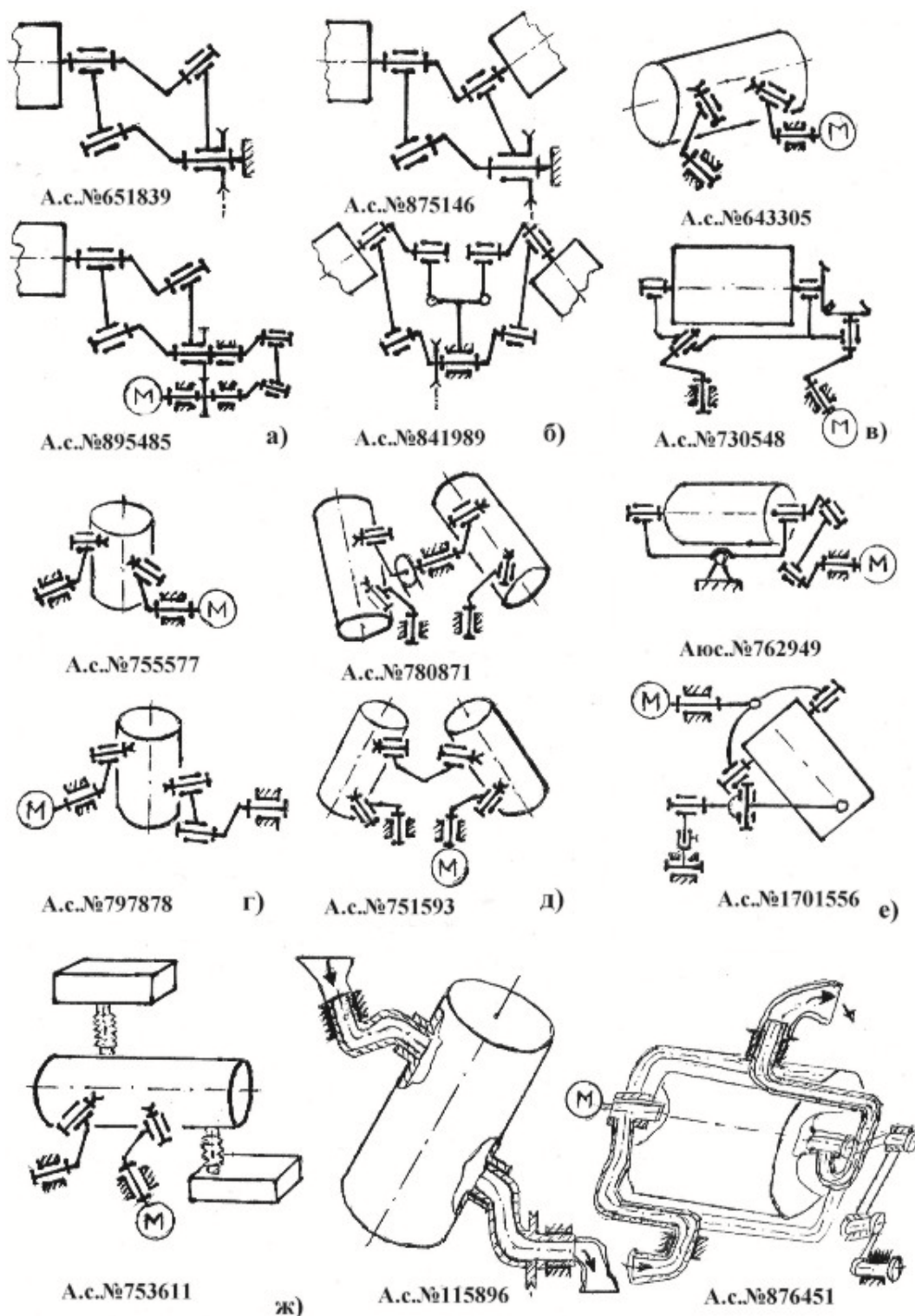


Рис. 1. Схемы классификационных групп пространственных смесителей

В первом случае вторая емкость крепится на втором пальце подвижного малого звена по рис. 1а базового модуля.

Второе направление разработок – объединение двух базовых модулей, поставленных на малое звено-станину. В этом случае динамические и статические давления распределяются равномерно и смеситель легче уравнивается.

В третьем направлении разработок использовано двойное объединение. Сначала объединяются базовые модули промежуточного типа, затем производится второе объединение вновь образованных устройств, зеркально расположенных относительно

первого, через общую станину и ведущий вал. Смесители практически полностью уравниваются и не требуют установки на фундамент (рис. 1б, нижний).

В четвертом направлении объединяются базовые модули общего типа с образованием конструкции смесителя с тремя емкостями, каждая из которых движется по своему индивидуальному закону. Применяя различные типы объединяемых базовых модулей можно получить семейство смесителей с разными законами движения емкостей.

В пятом направлении разработок консольных смесителей применено опять двойное объединение: сначала модулей в устройство, а затем соответствующим объединением двух вновь образованных устройств. Смеситель в этом случае имеет 4 подвижные емкости с различными законами движения. Здесь имеется также много вариантов образования, смесители этого направления полностью уравниваются.

Для первой и второй классификационных групп смесителей разработано устройство для компенсации неточности изготовления и сборки звеньев, а также для регулировки закона движения емкостей в процессе работы без замены мотылей кривошипов.

К третьей классификационной группе смесителей отнесены пространственные инерционные, конструкции которых образованы на основе базового модуля, у которого за неподвижное звено (стойку) принято одно из больших звеньев.

Смесители этой группы наиболее просты, они содержат только емкость, два кривошипа и станину (рис. 1в, верхний). Эта группа смесителей обладает большим диапазоном частот вращения емкости, степени неравномерности движения, эффективностью и универсальностью использования в самых разных технологических процессах. К практическому использованию предложено более 20 типов таких смесителей с вместимостью емкости от 10 до 200 л.

В части усложнения движения емкости разработана конструкция с дополнительным вращательным движением ее (рис. 1в, нижний), конструкция без пассивных связей, с дополнительным маховиком для полного уравнивания, конструкция с заменой ведомого кривошипа упругим элементом.

К четвертой классификационной группе отнесены смесители с вертикально расположенной емкостью (рис. 1г). В этой группе три разновидности смесителей. Первая на основе базового модуля с иным соединением двух кривошипов с емкостью и станиной, при этом закон движения ее отличается сложностью и оригинальностью: за один оборот ведущего кривошипа емкость делает два оборота. Разработаны смесители с вместимостью емкостей от 15 до 80 л.

Вторая разновидность смесителей с дополнительным звеном со стороны ведущего, а третья – со стороны ведомого кривошипа (рис. 1г, нижний). Обе группы образованы соответствующим объединением базовых модулей через общие шарниры и звенья и определенным отбрасыванием объединяемых звеньев и шарниров и заменой их необходимыми звеньями по той или иной структурной схеме. Определены их структурные параметры, условия взаимосвязи угловых и линейных размеров, последовательность и варианты проектирования.

К пятой классификационной группе отнесены пространственные инерционные двухемкостные смесители, образованные объединением одноемкостных смесителей через общий вал и станину (рис. 1д). Структурные параметры второго объединяемого смесителя отличаются только значениями угла скрещивания осей шарниров кривошипов, который равен $180^\circ - \alpha$. В этом случае ведомые кривошипы имеют встречное неравномерное движение, чем устраняется негативное влияние инерционного момента на станину смесителя. Показаны разработки смесителей с вместимостью емкостей от 20 до 50 л каждая.

Другой вариант этой группы образован объединением двух одноемкостных смесителей и удалением горизонтальной опоры с валом и кривошипом и введением вместо них общего колена. Структурные параметры отличаются от первого типа наличием изогнутого под углом $180^\circ - 2\alpha$ колена. Показаны многовариантные конструктивные исполнения смесителей этой группы.

Для смесителей пятой группы разработано устройство для компенсации неточности изготовления и сборки звеньев, которое дополнительно гасит упругие колебания емкостей.

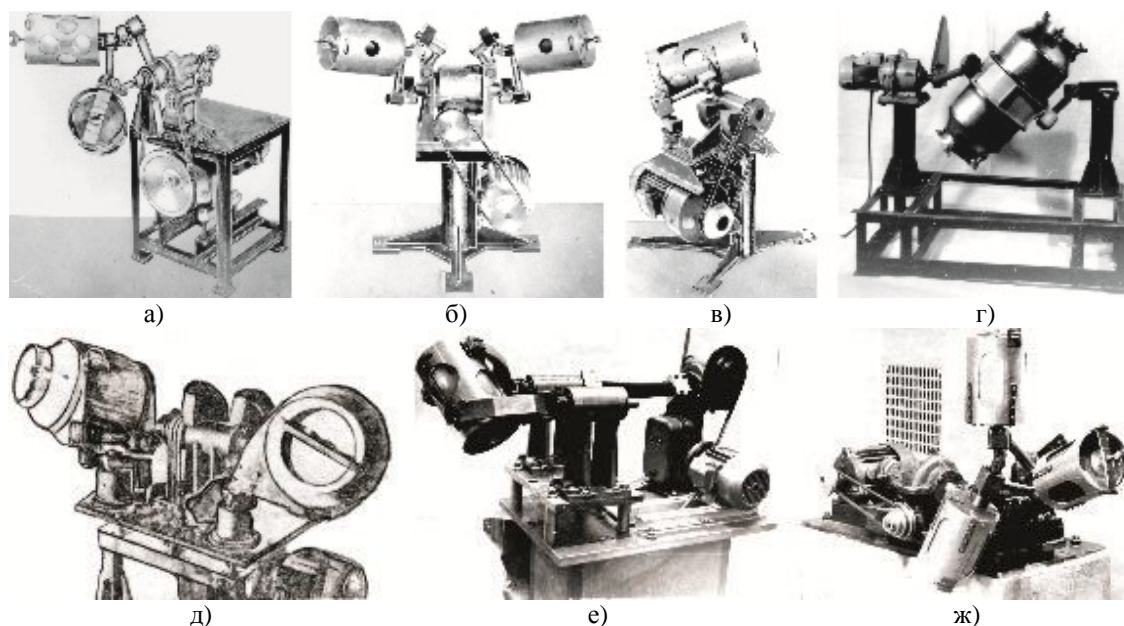


Рис. 2. Фото экспериментальных пространственных смесителей:
 а) двухемкостный по А.с. № 895485; б) двухемкостный по А.с. № 841989;
 в) инерционный по А.с. № 643305; г) винтовой по А.с. № 755577;
 д) инерционный двухемкостный по А.с. № 780871;
 е) комбинированный по А.с. № 1701556; ж) трехемкостный по А.с. № 456628

Следующая шестая классификационная группа смесителей - комбинированные, т.е. объединяющие два простых движения в сложное движение емкости. В известных устройствах привод осуществляется от отдельных источников или с применением сложных передаточных механизмов, что нецелесообразно.

Используя прием объединения двух базовых модулей, образовано ряд вариантов смесителей, сочетающих два и более движений, посредством одного источника привода и преобразующего механизма (рис. 1е, верхний) [6].

Емкость таких смесителей имеет вращательное и возвратно-вращательное движение с неравномерной угловой скоростью. Приведена структура смесителя, взаимосвязь параметров, пример конструирования. Даны варианты с зубчатой передачей, с источником привода на станине, с источником привода на качающейся раме.

Еще одна проверка возможности предложенной теории создания смесителей проведена на всемирно известном смесителе швейцарской фирмы «Турбула», подходящем по некоторым признакам, к нашим смесителям (все шарниры вращательные и емкость совершает сложное движение). Его недостатки: точное соблюдение размеров, которые находятся в зависимости от размера емкости, закон движения емкости не регулируется.

Применяя основы теории создания смесителей, нам удалось устранить недостатки смесителя и усовершенствовать его на уровне 6 изобретений: три типа смесителей и три изобретения иного направления.

В первом смесителе (рис. 1е, нижний) одна из неподвижных стоек выполнена подвижной и регулируемой по высоте, что устранило требование к точности изготовления звеньев и сделало регулируемым закон движения емкости.

Во втором смесителе изменена конструкция звеньев так, что позволило работать с различными по объему и размерам емкостями.

В третьем смесителе введено устройство для осуществления непрерывного режима работы.

На структурной схеме смесителя создано: вращающийся фонтан, тренажер для летчиков и тестомесильная машина.

К седьмой классификационной группе отнесены пространственные смесители с непрерывным режимом работы. Показаны сложности осуществления непрерывной

подачи и отвод компонентов в емкости, совершающей сложное неравномерное пространственное движение.

Приведены примеры разработок непрерывного режима в каждой из 6 классификационных групп разными способами [5]. Выполнение кривошипов полыми для подачи и отвода компонентов в инерционных смесителях (рис. 1ж, средний), через гибкие шланги и патрубки – в инерционных (рис. 1ж, левый), через полые трубы и каналы – в комбинированных (рис. 1ж, правый) и т.д.

Исследование смесителей проводилось в производственных условиях на перемешивании компонентов предприятий – условие предприятия, перед внедрением проверить смеситель в работе. Так, в линии приготовления лекарств в казанском химико-фармацевтическом объединении препараты отвечали всем требованиям однородности и экологической чистоты продукта за меньшее время. В линии обогащения комбикормов микродобавками в условиях птицефабрик однородность смеси составляла 97-98 %. Процесс обработки деталей (снятие заусенцев и округление кромок) увеличивался в 6-40 раз в сравнении с таковым заводов Минмедпрома и завода пишущих устройств.

Что касается пространственных смесителей зарубежного исполнения, то кроме швейцарского смесителя «Турбула», других конструкций нигде не обнаружено. Имеются только теоретические публикации: метод синтеза механизма Беннетта [9], моделирование механизма Беннетта как часть мобильного робота [10], связи и объединение механизмов [11-12], в качестве рамной конструкции акустического потолка многоцелевого театра [13].

Заключение

1. На основе базового пространственного модуля разработано семь новых классификационных групп пространственных смесителей: с консольно закрепленной емкостью, консольные многоемкостные, инерционные, с вертикально расположенной емкостью, инерционные многоемкостные, комбинированные и смесители с непрерывным процессом работы. Кроме этого, на основе базового модуля создано много разнообразных устройств техники – восемь направлений, и выявлен огромный его потенциал как самостоятельное устройство (34 изобретения), т.е. в полном смысле он является общим универсальным пространственным базовым модулем

2. Универсальный базовый модуль, метод образования смесителей объединением базовых модулей, двойное объединение устройств и комплексный метод поиска решений технических проблем, квалифицируется как общая теория создания пространственных перемешивающих устройств и других устройств техники.

3. Все группы смесителей сравнительно проще аналогичных устройств, значительно интенсифицируют многие технологические процессы за счет сложного пространственного движения емкости с дополнительным инерционным воздействием на обрабатываемый материал и имеют привод от одного источника энергии.

Список библиографических ссылок

1. Евграфов А. Н., Петров Г. Н. Геометрия и кинематика механизма турбулентного смесителя : сб. ст. 3-й Международной научно-практической конференции / Политех. ун-т. СПб, 2013. С. 701–708.
2. Мингазов М. Р., Яруллин М. Г. Кинематика характерных точек рабочих звеньев пространственного 4R-механизма как активатора процессов перемешивания // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2014. № 3. С. 34–38.
3. Мудров А. Г. О новой группе пространственных аппаратов с мешалкой // Вестник КГАУ, 2016, № 2. С. 77–82.
4. Мудров А. Г. Способы интенсификации процессов в строительных технологиях // Известия КГАСУ, 2016, № 2 (36). С. 233–240.
5. Мудров А. Г. Инерционные пространственные смесители непрерывного действия // Известия КГАСУ, 2017, № 1 (39). С. 264–271 .
6. Мудров А. Г. Молотковая мельница // Известия КГАСУ, 2016, № 3 (37). С. 238–243.
7. Мудров А. Г., Марданов Р. Ш. Обзор исследований пространственных механизмов с вращательными шарнирами // Теория механизмов и машин, 2015, № 2. С. 62–71.

8. Мудров А. Г. Пространственные механизмы с особой структурой. Казань : РИЦ «Школа», 2003. 300 с.
9. Brunthaler K., Schrocker H-P., Husty M. A New Method for the Synthesis of Bennett Mechanisms. Cassino : Proceedings of CK2005, International Workshop on Computational Kinematics, 2005. P. 53–61.
10. Oliveira Jr A. A., Carvalho J. C. M. Modeling of the Bennett's linkage as leg of a mobile robot, 12th IFToMM World Congress, Besancon, 2007. P. 1–6.
11. Chen Y., Song C. Y. A spatial 6R linkage derived from subtractive Goldberg 5R linkages // Mech. Mach. Theory. 2011. V. 46. P. 1097–1106.
12. Chen Y., Song C. Y. A family of mixed double-Goldberg 6R linkages // Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science. 2012. T. 468. № 2139. P. 871–890.
13. Soru M. A spatial kinetic structure applied to an active acoustic ceiling for a multi-purpose theatre. Delft : TU Delft University of Technology, 2014. 213 p.

Mudrov A.G. – 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

About the new classification groups, spatial mixers

Abstract

Problem statement. The development of the drum (capacitive) mixer began with the use of simple rotational motion, the use of different geometrical shapes of the container, the tilt of its axis to the axis of rotation, the use on the inner surfaces of the various elements, etc began to use the complex motion by means of the second drive source rotating with an irregular speed, spatial movement. It is recognized that the effectiveness of the processes in the vessel is achieved by its complex motion with irregular speed. But the implementation of such movement is difficult due to complexity of mechanical devices.

The task was to develop simple designs of faucets for the modern demands of material handling in various processes.

Results. Proposed new classification of seven groups of spatial faucets in the structural composition of which is only rotational joints, with the number of mobile units from three to six, including capacity, performing a complicated uneven movement from one drive source in all groups of mixers. All the mixers 36 are protected by copyright certificates on inventions.

Conclusions. Created a new scientific direction in the design of spatial faucets only with rotational joints, with a wide versatility: mixing various materials, without limitation, surface treatment parts, cleaning and washing of products, milling and grinding, etc. without readjustment. All devices processed material receives additional power to the inertial effect to the main turbulent motion, thereby intensifying the treatment process of improvement in the quality of the final product.

Keywords: joints rotational, spatial mixers, tanks, inertial forces, intensification, classification groups.

References

1. Evgrafov A. N., Petrov G. N. Geometry and kinematics of the mechanism is turbulent mixer : dig. of art. 3rd International scientific-practical conference / Polytechnical University. SPb., 2013. P. 701–708.
2. Mingazov M. R., Yarullin M. G. Kinematics of the characteristic points of the working parts of a spatial 4R mechanism as activator of the processes of mixing // Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. Vol. 3. P. 34–38.
3. Mudrov A. G. About a new group of spatial units with mixer // Vestnik KGAU. 2016. № 2. P. 77–82.

4. Mudrov A. G. Ways of intensification of processes of construction technologies // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 2 (36). P. 233–240.
5. Mudrov A. G. Inertial spatial continuous mixers // *Izvestiya KGASU*. 2017. № 1 (39). P. 264–271.
6. Mudrov A. G. Hammer mill // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 3 (37). P. 238–243.
7. Mudrov A. G., Mardanov R. W. A review of studies of spatial mechanisms with rotational joints // *Teoriya mekhanizmov i mashin*. 2015. № 2. vol. 13. P. 62–71.
8. Mudrov A. G. Spatial mechanisms with a special structure. Kazan : RIC «Shkola», 2003. 300 p.
9. Brunthaler K., Schrocker H-P., Husty M. A New Method for the Synthesis of Bennett Mechanisms. Cassino : Proceedings of CK2005, International Workshop on Computational Kinematics, 2005. P. 53–61.
10. Oliveira Jr A. A., Carvalho J. C. M. Modeling of the Bennett's linkage as leg of a mobile robot, 12th IFToMM World Congress, Besancon, 2007. P. 1–6.
11. Chen Y., Song C. Y. A spatial 6R linkage derived from subtractive Goldberg 5R linkages // *Mech. Mach. Theory*. 2011. V. 46. P. 1097–1106.
12. Chen Y., Song C. Y. A family of mixed double-Goldberg 6R linkages // *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science*. 2012. T. 468. № 2139. P. 871–890.
13. Soru M. A spatial kinetic structure applied to an active acoustic ceiling for a multi-purpose theatre. Delft : TU Delft University of Technology, 2014. 213 p.



УДК 625.08

Габдуллин Т.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: talgat2204@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

К вопросу совершенствования методов нанесения дорожной разметки

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследований было совершенствование рабочего процесса нанесения дорожной разметки, направленное на снижение временных и финансово-материальных затрат при выполнении указанных работ.

Результаты. Для решения этих задач предлагается применение геопозиционного метода нанесения дорожной разметки на основе незначительной модернизации конструкции о доукомплектовании специальным оборудованием существующей дорожно-разметочной машины КОНТУР-700ТП. В результате достигается ускорение процесса нанесения дорожной разметки без снижения качества выполняемой работы. При этом сокращается численности рабочей бригады и минимизируется влияние человека-машиниста в процесс нанесения дорожной разметки.

Выводы. Модернизирована (дооборудована) конструкция существующей дорожно-разметочной машины КОНТУР-700ТП. Описаны технологические особенности его применения. Рассчитана сравнительная экономическая эффективность внедрения предлагаемых технологии и разработки. Установлено, что внедрение метода геопозиционирования и модернизированной и дооборудованной машины является экономически выгодным по сравнению с применяемыми методами нанесения дорожной разметки.

Ключевые слова: метод, технология, дорожная разметка, дорожное полотно, система, погрешность, скорость, оборудование, качество, эффективность.

Введение

Разметка – это обязательный элемент дорожного покрытия, предназначенная для упорядочивания автомобильного потока. В настоящее время на дорогах Российской Федерации дорожная разметка наносится в основном двумя способами – краской и термопластиком. Нанесения разметки краской намного быстрее, чем термопластиком, но нанесенного слоя хватает на месяц при высокой интенсивности дорожно-транспортного потока. В связи с этим, большую популярность получил метод нанесения разметки термопластиком в горячем виде. Для этого сухой порошок состав термопластика плавится при температуре 180...200° С. Термопластик, нанесенный на дорожное покрытие в горячем виде без нарушений технологии, является стойким к трещинам, выдерживает негативные влияния погодных условий и служит в восемь-десять раз дольше по времени, чем разметка нанесенная краской [1].

Для нанесения термопластика наиболее широко используется специальная дорожно-разметочная машина КОНТУР-700ТП (рис. 1). Рабочий процесс данной машины состоит из отдельных последовательных циклов, включающих в себя автоматизированные и механические периоды. Он обеспечивает выполнение всего заданного объема работ за сезон, но в связи с частичным присутствием ручного труда, процесс нанесения разметки сильно затягивается.

Увеличение производительности и улучшение технико-экономических показателей дорожно-разметочных машин, повышение их автоматизации, надежности и быстродействия неразрывно связано с модернизацией (доработкой) их конструкций и, как следствие, совершенствованием технологий, способов и методов нанесения разметки.

Постановка задачи

Разметка наносится строго по ГОСТ 51256-99 с согласованием Госавтоинспекцией и должна учитывать изменения потока дорожного движения, если они есть. В зависимости от дорожной ситуации и выполняемых работ возможна корректировка разметки.

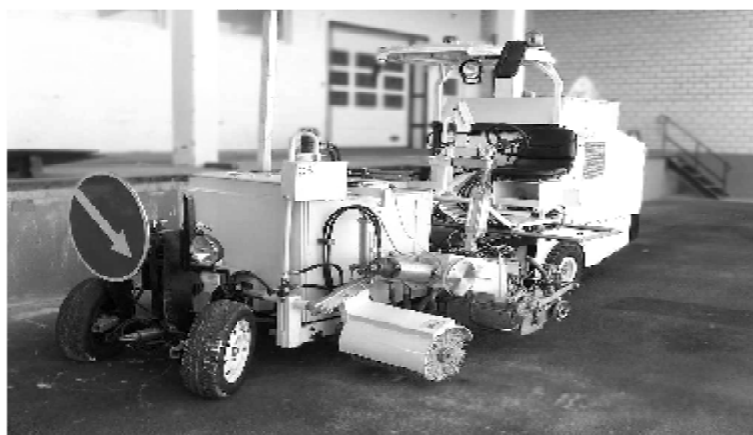


Рис. 1. Общий вид машины дорожной разметки Контур 700ТП

При нанесении дорожной разметки большая часть времени уходит на расчерчивание её на дорожном полотне и дальнейшую её корректировку. Если нанесение самой разметки протяженностью 500 метров при соблюдении всех требований и технологий нанесения термопластика и рабочей скорости машины не более 5 км/ч занимает около 12 мин времени, то на расчерчивание контура дорожной разметки по времени уходит намного больше времени (порядка 30 мин), в зависимости от сложности участка дороги. Это влечет большие необоснованные экономические потери. Например, при нанесении предварительной разметки дорожно-разметочная машина делает один холостой круг, а при корректировке, может уйти и на второй, то есть возрастают эксплуатационные расходы машины. Увеличивается также время выполнения работ.

Работы по нанесению дорожной разметки в Российской Федерации в силу природно-климатических условий страны носят сезонный характер и сильно зависят от каждодневных погодных условий. Следовательно, за период времени, в котором уже по расчетам могла быть нанесена разметка, погода может измениться и пойти дождь, останавливающий весь процесс работы. Соответственно, появляются вынужденные потери: повышается расход горюче-смазочных материалов (ГСМ) на эксплуатацию машин сопровождения, которые обеспечивают безопасное движение разметочной машины по проезжей части, на эксплуатацию тягача, который доставляет и увозит с места работы саму разметочную машину. Снижается эффективность полезности заработной платы рабочих. Из-за такого простоя особый урон наносится на рабочий материал, которым наносится дорожная разметка – на термопластик. По причине несвоевременного использования он теряет свои основные рабочие качества - термопластик остывает и его придется повторно нагревать до рабочей температуры, что в определенной степени снижает его рабочие характеристики.

Геопозиционный метод нанесения дорожной разметки

Для решения этих проблем предлагается применить геопозиционный метод нанесения дорожной разметки.

Суть данного метода заключается в следующем. В начале работ с максимальной точностью снимаются данные с местности, заносятся в бортовой компьютер и, пройдя компьютерную обработку, машина способна автоматически наносить на проезжую часть разметку. Такой подход даст большой выигрыш во всем особенно в следующем сезоне работ, так как снятая в текущем сезоне база координат будет полностью сохранена, заполнена и система способна полноценно заработать в полную силу без предварительных подготовительных работ по привязке координат дорожной сети.

Для обеспечения технических возможностей выполнения указанных работ существующая дорожно-разметочная машина (в данном случае КОНТУР-700ТП) должна пройти некоторую модернизацию или доукомплектование. На разметочную машину для точного снятия координат и дальнейшего их занесения в базу данных устанавливаются датчики реального времени. Для снятия координат используется датчик реального времени

для снятия координат Trimble BD910 (здесь и далее по тексту возможна установка аналогов подобных датчиков других производителей), который будет передавать все снятые данные на базу. Датчик BD910 относится к классу прецизионных измерителей и создан для эксплуатации в жестких температурных условиях – допустимый температурный диапазон применения приемника $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$. Вибростойкость отвечает требованиям военного стандарта MIL810F. Для получения необходимой точности BD910 должен работать в паре с опорной (базовой) станцией, в качестве которой он может выступать при установке специального программного обеспечения. Связь между базовой станцией (неподвижный BD910) и измерительным (подвижным) BD910 может организовываться по радиоканалу, через GSM-модем или Интернет. В отдельном случае, например для целей проверки работоспособности, формируемые базовой станцией поправки можно передавать в подвижный BD910 даже с помощью обычного кабеля. Датчик Trimble BD910 обрабатывает сигналы поддиапазона L1 систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo и Compass. Алгоритм L1 RTK обеспечивает определение места с точностью 1...2 см. Для установки выше перечисленных датчиков нужно заново разработать визер, который, в отличие от его предыдущей версии, будет жестко прикреплен к раме. Визер старого образца (рис. 2) имеет много соединений и при движении машины очень сильно раскачивается, что недопустимо при работе сверхточных датчиков.



Рис. 2. Общий вид визера старого образца

Новый визер (рис. 3) жестко сварен, и многочисленные соединения отсутствуют, поэтому при движении машины колебания будут исключены. На визере установлены два датчика Trimble BD910.



Рис. 3. Общий вид визера нового образца



Рис. 4. Общий вид датчика реального времени для снятия координат Trimble BD910

На экструдере будет установлена дополнительная платформа, предназначенная для размещения оптических датчиков и лазера, контролирующих подачу стеклошариков в термопластик и неразрывность дорожной разметки, и в случае сбоя, останавливающих процесс нанесения дорожной разметки. Стеклошарики диаметром 0,05...1,5 мм добавляются в термопластик для обеспечения повышенных светоотражающих свойств

дорожной разметки в темное время суток, и чтобы разметка была достаточно хорошо видна в дождливую или в пасмурную погоду [2]. Программа управления описанным процессом будет записана в блоке управления Trimble CB 450. При этом для данного блока разрабатывается новое рулевое управление с электродвигателем, которое будет направлять машину точно по координатам, занесенным в базу данных бортового компьютера. Так же на машину будет установлена антенна типа MS992 (рис. 5), модем поправки для контроля и уточнения координат SNM940 и два датчика AS400 (рис. 6) предназначенные для поправки координат в случае продольного или поперечного уклонов машины в ходе рабочего процесса.



Рис. 5. Общий вид GNSS антенны MS992 Trimble



Рис. 6. Общий вид датчика продольного или поперечного уклона Trimble AS400

Установка GNSS антенны MS992 Trimble, не вызывает дополнительных трудностей, так её крепление достаточно универсальное. Весь рабочий процесс в целом будет находиться под управлением программного обеспечения VISION LINK. В случае изменения дорожного полотна, данный проект легко отредактируется под новые измененные значения.

Предлагаемая модернизация и дооборудование дорожно-разметочной машины придает существенное ускорение рабочему процессу без потери качества выполняемых работ. Так как система становится автоматической оператору машины остается лишь контролировать процесс нанесения слоя разметки. Снижается рабочая нагрузка на оператора. Это очень значимо в сезон работ, так как в абсолютном большинстве работы по нанесению дорожной разметки выполняются в ночное время. Свежесть оператора позволяет ему оперативно принимать необходимые решения, влияющие на качество работ. Предлагаемая модернизация и техническое дооборудование машины повышает ее быстродействие и, соответственно, увеличивает объем выполняемых работ – возрастает производительность. В случаях реконструирования дорог ранее внесенные данные в программное обеспечение можно легко скорректировать, либо внести новые данные и продолжить работы.

Применение такой более автоматизированной машины позволяет сократить количество людей в рабочей бригаде на два человека, что также снижает финансовые затраты компании на заработную плату.

Экономическая целесообразность проекта

При расчете экономической целесообразности проекта были учтены и рассчитаны следующие финансовые расходы.

1. Заработная плата рабочих за сезон была рассчитана по формуле [6]:

$$C_{зп} = L \cdot C_{зп \text{ в день}} \cdot D_{раб} \cdot K_{эф}, \quad (1)$$

где $C_{зп}$ – заработная плата рабочих за весь сезон работы, руб.;

L – количество рабочих в бригаде;

$C_{зп \text{ в день}}$ – заработная плата рабочего за смену, руб.;

$D_{раб}$ – общее количество рабочих дней за сезон работы;
 $K_{бф}$ – коэффициент, учитывающий отчисления в инстанции.

2. Сумма рабочих дней определяется по формуле:

$$D_{раб} = D_{общ} - D_{вых} - D_{дождь}, \quad (2)$$

где $D_{раб}$ – общее количество рабочих дней за сезон;
 $D_{общ}$ – общее количество всех дней за сезон работ;
 $D_{вых}$ – общее количество выходных дней за сезон работ;
 $D_{дождь}$ – общее количество дней с осадками за сезон работы.

3. Определение финансовых затрат на аренду техники (при необходимости):

$$A = D_{раб} \cdot A_{день}, \quad (3)$$

где A – сумма аренды за сезон работы, руб. ;
 $D_{раб}$ – общее количество рабочих дней за сезон;
 $A_{день}$ – цена аренды техники за один день, руб.

4. Расходы на ГСМ были определены по следующей зависимости:

$$P_{ГСМ} = Z_{смена} \cdot C_{ГСМ} \cdot D_{раб}, \quad (4)$$

где $P_{ГСМ}$ – общая сумма расхода на ГСМ, руб. ;
 $Z_{смена}$ – заправка в смену, л;
 $C_{ГСМ}$ – цена за литр горюче – смазочного материала, руб/л;
 $D_{раб}$ – общее количество рабочих дней за сезон.

5. Практические замеры времени работы машины в режиме ручного труда и в режиме применения предлагаемой системы геопозиционирования позволили определить коэффициент ускорения рабочего процесса $K_{уск}$:

$$K_{уск} = t_{р.р.} / t_{а.р.}, \quad (5)$$

где $t_{р.р.}$ – время, затраченное на работу в ручном режиме, мин;
 $t_{а.р.}$ – время, затраченное на работу в автоматическом режиме, мин.

6. Общее количество дней, необходимых для выполнения работ определяется по формуле [6]:

$$D_{раб.авт.} = D_{раб.} \left(\frac{t_{р.р.}}{t_{а.р.}} \right), \quad (6)$$

где $D_{раб.авт.}$ – рабочие дни при применении нового метода;
 $D_{раб.}$ – общее количество рабочих дней за сезон;
 $t_{р.р.}$ – время, затраченное на работу в ручном режиме, мин;
 $t_{а.р.}$ – время, затраченное на работу в автоматическом режиме, мин.

7. В заключение определяется сумма на зарплату рабочих, на аренду техники и на ГСМ заменив $D_{раб.}$ на $D_{раб.авт.}$. Сравнивая полученные результаты можно подсчитать во сколько раз применение предлагаемой системы геопозиционирования сокращает расходы на выполняемые работы обычным методом.

Все данные, необходимые для проведения выше перечисленных расчетов, были представлены фирмой ООО «Фирма АВТОГАЗ» (г. Казань) по итогам работы по нанесению дорожной разметки в 2015 и 2016 годах.

Заключение

Практическое внедрение метода геопозиционирования позволяет повысить экономическую эффективность дорожно-строительных организаций (~24 %). За счет отсутствия затрат на предварительную разметку, большая часть рабочего времени будет затрачена на выполнение основной работы. При работе с предлагаемой дооборудованной дорожно-строительной машиной качество нанесения разметки повышается, при этом скорость выполняемой работы увеличивается. Сокращаются время выполнения работ, затраты на ГСМ и аренду техники, заметно экономится фонд заработной платы. Повышение эффективности систем контроля влечет повышение качество выполняемых работ. Таким образом, внедрение и применение вышеописанной технологии открывает новые возможности и является весьма перспективным по развитию дорожно-строительных компаний, занимающихся нанесением дорожной разметки.

Внедрение

Торгово-производственной компанией ООО «Фирма АВТОГАЗ» (г. Казань) изготовлен опытный образец модернизированной и дооборудованной дорожно-разметочной машины КОНТУР-700ТП, который летом 2016 года прошел натурные испытания. Результаты испытаний в целом соответствовали расчетным ожиданиям.

Список библиографических ссылок

1. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог. М. : Академия, 2010. 320 с.
2. Подольский В. П. Технология и организация строительства автомобильных дорог. Дорожные покрытия. М. : Академия, 2012. 304 с.
3. Шарапов Р. Р., Романович А. А., Харламов Е. В. Строительные и дорожные машины и оборудование: лабораторный практикум. Белгород : Изд-во БГТУ, 2014. 125 с.
4. Габдуллин Т. Р. Нанесение дорожной разметки на влажное дорожное покрытие // Известия КГАСУ. 2016. № 1 (35). С. 240–246.
5. Габдуллин Т. Р., Зимдеханов М. М. Разработка демаркировщика с гидродинамическим рабочим органом кавитационного типа // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 464–469.
6. Абрамов А. Т. Экономическое обоснование инженерных задач в дипломных проектах: методические рекомендации. Барнаул : Изд-во АГАУ, 2002. 68 с.
7. Габдуллин Т. Р., Загретдинов Р. В. Повышение производительности систем управления дорожно-строительной техникой при использовании систем глобального спутникового позиционирования. // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (26). С. 397–402.
8. David J. I. White, Pavana K. R. Vennapusa, Mark Thompson J. Validation of Intelligent Technology : Department of Transportation Federal Highway Administration. 2012. P. 12
9. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. № 1. С. 012119.
10. Hunter R. F. Asphalt in road construction. London : ICE Publishing, 2014. 588 p.

Gabdullin T.R. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: talgat2204@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

On the issue of improving road marking methods

Abstract

Problem statement. The aim of the research was to improve the working process of road marking, aimed at reducing the time and financial and material costs in the performance of these works.

Results. To solve these problems, it is proposed to apply the geopolitical method of marking road marking on the basis of minor modernization of the structure, with additional equipment of the existing road-marking machine KONTR-700TP. As a result, the process of applying road marking is accelerated without reducing the quality of the work performed. At the same time, the number of working brigades is reduced and the influence of the man-machinist in the process of applying road marking is minimized.

Conclusions. The construction of the existing road-scribing machine KONTR-700P has been modernized (retrofitted). The technological features of its application are described. The comparative cost-effectiveness of the proposed technology and development is calculated. It is established that the introduction of the proposed method and modernized equipment is economically profitable (~ 24 %) compared to the applied methods of road marking.

Keywords: method, technology, road marking, roadway, system, error, speed, equipment, quality, efficiency.

References

1. Vasilyev A. P. Operation of highways. M. : Academy, 2010. 320 p.
2. Podolsky V. P. Technology and organization of construction of highways. Road coverage. M. : Academy, 2012. 304 p.
3. Sharapov R. R., Romanovich R. A., Kharlamov E. V. Building and road machines and equipment: laboratory practical. Belgorod : Publishing House of the Baltic State Technical University, 2014. 125 p.
4. Gabdullin T.R. Road marking on wet coating // Izvestiya KGASU, 2016, № 1 (35). P. 240–246.
5. Gabdullin T. R., Zimdehanov M. M. Development of the machine to remove the markup with hydrodynamic cavitation working body type // Izvestiya KGASU. 2014. № 4 (30). P. 464–469.
6. Abramov A. T. Economic justification of engineering problems in the graduation projects: methodological recommendations. Barnaul : Publishing house ASAU, 2002. 68 p.
7. Gabdullin T. R. Productivity Improvement of Machine Control Systems Using new Global Satellite Positioning Systems // Izvestiya KGASU. 2013. № 4 (26). P. 397–402.
8. David J. I. White, Pavana K. R. Vennapusa, Mark Thompson J. Validation of Intelligent Technology : Department of Transportation Federal Highway Administration. 2012. P. 12
9. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. № 1. P. 012119.
10. Hunter R. F. Asphalt in road construction. London : ICE Publishing, 2014. 588 p.

УДК 625.712

Мавлиев Л.Ф. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Вдовин Е.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: vdovin007@mail.ru

Фомин А.Ю. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: fomin-al.78@mail.ru

Буланов П.Е. – ассистент

E-mail: f_lays@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Хайруллин Р.Ш. – начальник отдела эксплуатации автодорог и безопасности движения

E-mail: ravil.hayrullin@tatar.ru

ГКУ «Главтатдортранс»

Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75

Оценка эффективности зимнего содержания автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с уплотненным снежным покровом

Аннотация

Постановка задачи. Провести оценку эффективности зимнего содержания с уплотненным снежным покровом автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием, путем сравнения сметной стоимости содержания с применением противогололедных материалов (традиционный метод) и с уплотненным снежным покровом.

Результаты. Установлено, что основной статьей затрат при зимнем содержании и с применением противогололедных материалов, и с уплотненным снежным покровом является эксплуатация машин. Определено, что стоимость работ при зимнем содержании с уплотненным снежным покровом снизится на 28 и 32 % в зависимости от группы дороги по содержанию. При этом потребность в материалах сократится на 50 и 61 %, затраты на основную зарплату увеличатся на 168 и 190 %, на эксплуатацию машин снизятся на 19 и 25 % (за счет снижения затрат на эксплуатацию погрузчиков на 29 и 60 %, комбинированных дорожных машин на 39 и 47 %, увеличения затрат на эксплуатацию машин дорожной службы на 34 и 38 %). Стоимость работ по зимнему содержанию 1 км дорог II и III группы при переходе на технологию с уплотненным снежным покровом снизится на 32 и 28 % соответственно.

Выводы. Содержание в зимнее время автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан, имеющих асфальтобетонное покрытие, с уплотненным снежным покровом – реальная возможность экономии средств на эксплуатацию дорог за счет снижения текущих и перспективных затрат, а также как показывает опыт, повышения безопасности дорожного движения и улучшение экологической обстановки.

Ключевые слова: уплотненный снежный покров, эффективность, сметная стоимость, противогололедные материалы, зимнее содержание, автомобильная дорога.

Введение

Отечественный и зарубежный опыт зимнего содержания автомобильных дорог показал, что при незначительной интенсивности движения, продолжительных осадках в виде снега, стабильной отрицательной температуре и влажности воздуха 65-85 % создаются благоприятные условия для формирования на покрытиях автомобильных дорог уплотненного снежного покрова. Уплотненный снежный покров (УСП) представляет собой специальный слой, устраиваемый на дорожном покрытии из снега и способный обеспечивать непрерывное и безопасное дорожное движение автомобильного транспорта с установленными скоростями в зимний период (рис. 1) [1-9].



Рис. 1. Фотография автомобильной дороги с уплотненным снежным покровом

Основой технологии зимнего содержания с уплотненным снежным покровом является процесс регулярного и равномерного уплотнения снега по всей ширине полосы движения, начиная с первого снегопада при установившейся отрицательной температуре. Требуемые физико-механические и транспортно-эксплуатационные свойства, а также устойчивость слоя уплотненного снежного покрова достижимы именно при уплотнении с началом первых снегопадов. Нарращивание слоя производится при последующих интенсивных выпадениях снега [10].

В процессе эксплуатации автомобильных дорог с уплотненным снежным покровом слой такого покрытия подвержен деформациями, таким как колее- и волнообразование, просадки и выбоины. Также наблюдается повышение скользкости от временного потепления и снижения шероховатости от действия колес автомобиля. В таблице приведены транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги и способы их обеспечения при содержании с уплотненным снежным покровом.

Таблица

Способы обеспечения транспортно-эксплуатационных показателей автомобильной дороги при зимнем содержании с уплотненным снежным покровом

| Транспортно-эксплуатационный показатель | Способ обеспечения |
|---|--|
| Ровность | Патрульное профилирование автогрейдером или КДМ после каждого снегопада |
| Шероховатость, коэффициент сцепления | Нарезка продольных бороздок грейдерными ножами с зубчатой или гребенчатой режущей кромкой, либо создание шероховатой поверхности с помощью специальных навесных катков или фрез; Распределение фрикционных противогололедных материалов – природные пески, щебень мелких фракций, щебеночный отсев или высевки, шлаки или твердые отходы промышленности, удовлетворяющие действующим нормативным документам; Распределение противогололедных материалов на особо опасных участках – крутые подъемы и спуски, кривые в плане с малым радиусом, пересечения и примыкания, местах с аномально частым образованием скользкости |
| Скорость движения (тормозной путь, устойчивость автомобиля) | Установка временных дорожных знаков 3.24 «Ограничение максимальной скорости» для ограничения скорости движения до 80 км/час |

Согласно информации, представленной на сайте Федерального дорожного агентства, в зимний период 2013-2014 гг. на участке 1408-1592 км автомобильной дороги Р-21 «Кола» проводился эксперимент по зимнему содержанию с уплотненным снежным покровом с применением в качестве фрикционного материала песка крупных фракций.

В результате эксперимента достигнуты следующие показатели:

- сокращение количества ДТП на 25 % и снижение тяжести последствий ДТП;

- снижение затрат на приобретение противогололедных материалов до 60 %;
- снижение отрицательного воздействия на экологическую обстановку благодаря уменьшению количества применяемых противогололедных материалов;
- снижение перспективных затрат на ремонт и содержание на 30 % за счет меньшего воздействия на дорожную одежду шипов легковых автомобилей, металлических отвалов машин и механизмов, а также противогололедных реагентов.

Расчетная часть

Для оценки эффективности зимнего содержания с уплотненным снежным покровом автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием проведен расчет и сравнение сметной стоимости содержания с применением противогололедных материалов (традиционный метод) и с уплотненным снежным покровом. Расход противогололедных материалов при содержании с уплотненным снежным покровом принят 40 % от расхода при традиционном методе. В качестве противогололедного материала при содержании с уплотненным снежным покровом принята 5 % пескосоляная смесь. Расчет проведен для автомобильных дорог II и III групп по содержанию. Для зрительного ориентирования водителей принят способ ограничения проезжей части с помощью установки указательных вех через каждые 50 м с обеих сторон автомобильной дороги. С целью обеспечения безопасности дорожного движения принята установка щитков дорожных знаков (ограничение максимальной скорости) со средней потребностью 1 шт./км. Потребность в плужных снегоочистителях, автогрейдерах, комбинированных дорожных машинах при снегоочистке не изменялась в связи с проведением данными механизмами процедур обеспечения ровности и нарезки борозд для обеспечения сцепления. Потребность в комбинированных дорожных машинах сокращена при распределении противогололедных материалов в связи с уменьшением на 60 % расхода самих противогололедных материалов. Всего из обследованных автомобильных дорог II группы по содержанию на технологию уплотненного снежного покрова может быть переведено 514,063 км, III группы – 2741,466 км (автомобильные дороги с интенсивностью до 1500 авт/сут в соответствии с ГОСТ 33181-2014 [11, 12]). Также на территории Республики Татарстан имеются 1095,82 км дороги с низкой интенсивностью движения, III группы по содержанию, которые также можно эксплуатировать с уплотненным снежным покровом. Коэффициент перевода сметной стоимости с цен 2014 г. на 2015 г. – 1,062, на 2016 г. – 1,065, на 2017 г. – 1,067.

На рис. 2-3 представлено распределение затрат и стоимость работ по зимнему содержанию 1 км автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием II и III группы.

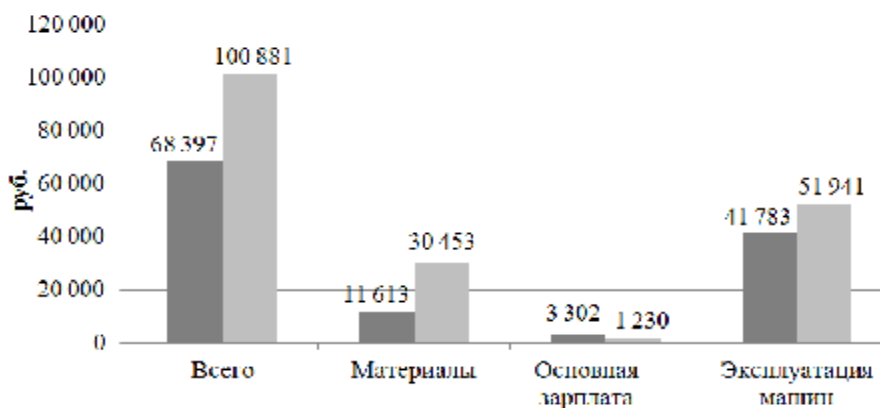


Рис. 2. Распределение затрат и стоимость работ по зимнему содержанию автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием II группы (1 км):

- – с уплотненным снежным покровом;
- – с применением противогололедных материалов

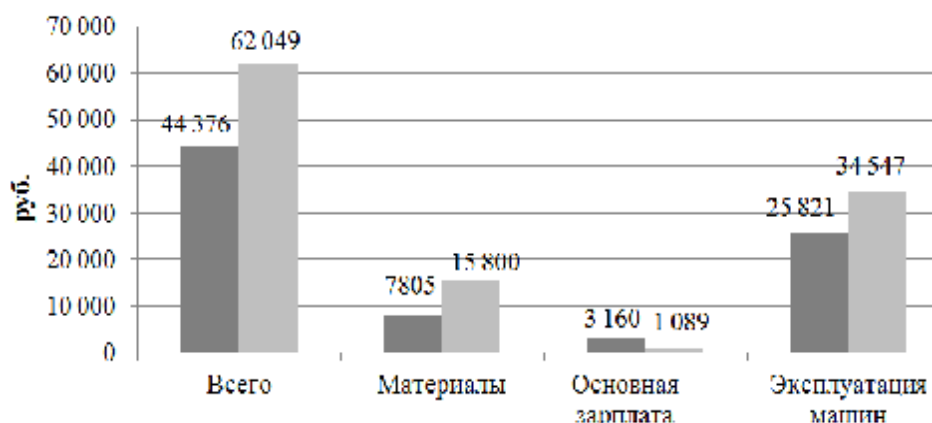


Рис. 3. Распределение затрат и стоимость работ по зимнему содержанию автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием III группы (1 км):

- – с уплотненным снежным покровом;
- – с применением противогололедных материалов

Согласно рис. 2-3, основной статьёй затрат при зимнем содержании и с применением противогололедных материалов и с уплотненным снежным покровом является эксплуатация машин. При переходе на технологию содержания автомобильных дорог с уплотненным снежным накатом, доля эксплуатации машин в общей стоимости работ увеличивается. Это связано с сокращением доли затрат на материалы. Также увеличиваются затраты на основную зарплату в связи с необходимостью в рабочих 2 и 4 разряда при заготовке, установке и уборке указательных вех, а также установке щитков дорожных знаков.

Стоимость работ при зимнем содержании с уплотненным снежным покровом снижается с 100881 руб./км до 68397 руб./км для II группы, с 62049 руб./км до 44376 руб./км для III группы. Потребность в материалах в денежном выражении сокращается с 30453 руб./км до 11613 руб./км для II группы, с 15800 руб./км до 7805 руб./км для III группы. Рост затрат на основную зарплату – с 1230 руб./км до 3302 руб./км для II группы, с 1089 руб./км до 3160 руб./км для III группы. Снижение затрат на эксплуатацию машин с 6882 руб./км до 5281 руб./км для II группы, с 5995 руб./км до 4278 руб./км для III группы.

Стоимость работ при зимнем содержании с уплотненным снежным покровом снижается на 32484 руб./км (32,2 %) для II группы, на 17673 руб./км (28,5 %) для III группы. Потребность в материалах в денежном выражении сокращается на 18840 руб./км (61,9 %) для II группы, на 7995 руб./км (50,6 %) для III группы. Рост затрат на основную зарплату на 2072 руб./км (168,5%) для II группы, на 2071 руб./км (190,2 %) для III группы. Снижение затрат на эксплуатацию машин на 10158 руб./км (19,6 %) для II группы, на 8726 руб./км (25,3 %) для III группы. Стоит отметить, что зарплата механизаторов, включенная в расходы на эксплуатацию машин, также снижается: на 1601 руб./км (23,3 %) для II группы, на 1717 руб./км (28,6 %) для III группы.

На рис. 4-5 представлена стоимость эксплуатации машин и механизмов, используемых для зимнего содержания 1 км автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием II и III группы.

Согласно рис. 4-5 при зимнем содержании с уплотненным снежным покровом автомобильных дорог II и III групп, снизятся затраты на эксплуатацию погрузчиков на 29 % и 60 %, комбинированных дорожных машин на 47 % и 39 % соответственно. При этом увеличатся затраты на эксплуатацию машин дорожной службы на 34 % для II группы и на 38 % для III группы.

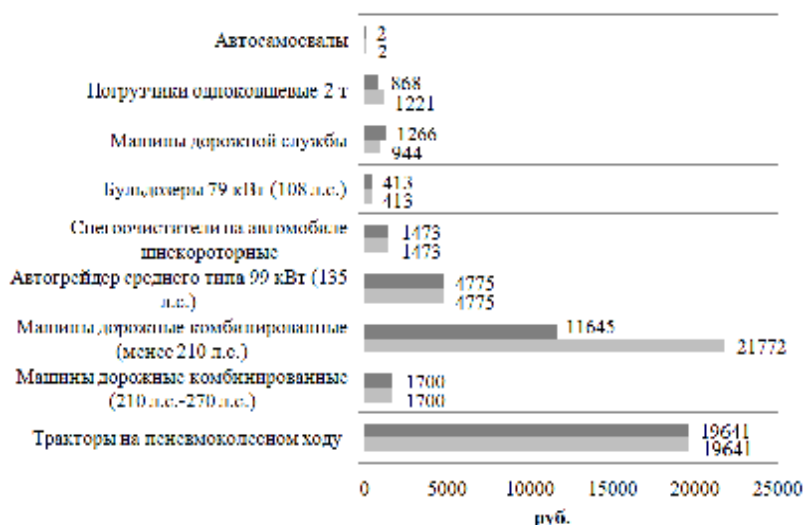


Рис. 4. Стоимость эксплуатации машин и механизмов, используемых для зимнего содержания автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием II группы (на 1 км):
 ■ – с уплотненным снежным покровом;
 ■ – с применением противогололедных материалов

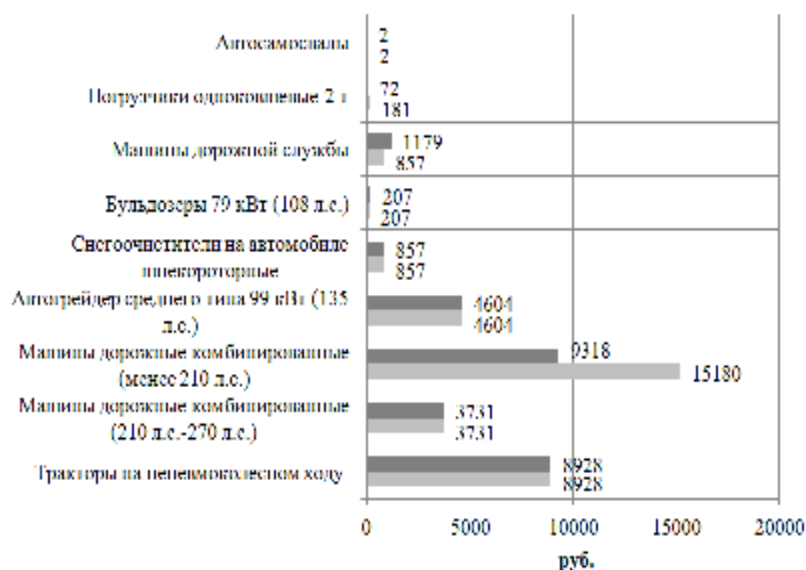


Рис. 5. Стоимость эксплуатации машин и механизмов, используемых для зимнего содержания автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием III группы (на 1 км):
 ■ – с уплотненным снежным покровом;
 ■ – с применением противогололедных материалов

На рис. 6-7 представлена стоимость работ по зимнему содержанию 1 км автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием II и III группы.

Согласно рис. 6-7, стоимость работ по зимнему содержанию 1 км дорог II и III группы при переходе на технологию с уплотненным снежным покровом снизится на 32484 руб. и 17673 руб. в ценах 2014 г., на 110440 руб. и 60085 руб. суммарно в ценах 2015-2017 г. (в рамках трехлетнего контракта), что составит 32 и 28 % соответственно.

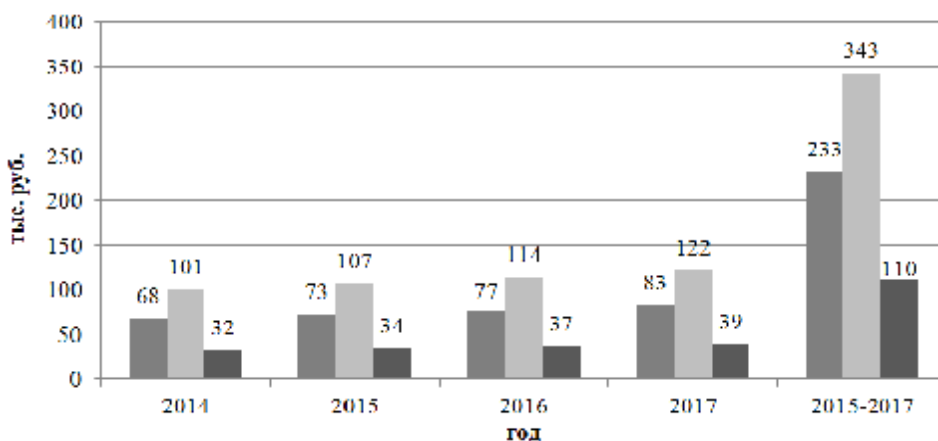


Рис. 6. Стоимость работ по зимнему содержанию автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием II группы (1 км) по годам:

■ – с уплотненным снежным покровом; ■ – с применением противогололедных материалов; ■ – снижение стоимости, руб.

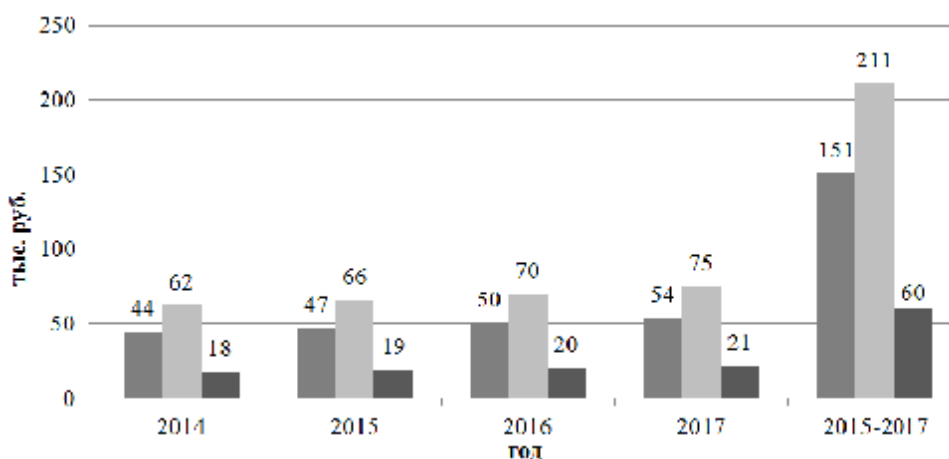


Рис. 7. Стоимость работ по зимнему содержанию автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан с асфальтобетонным покрытием III группы (1 км) по годам:

■ – с уплотненным снежным покровом; ■ – с применением противогололедных материалов; ■ – снижение стоимости, руб.

Результаты

1) Основной статьёй затрат при зимнем содержании и с применением противогололедных материалов, и с уплотненным снежным покровом является эксплуатация машин. При переходе на технологию содержания автомобильных дорог с уплотненным снежным покровом, доля эксплуатации машин в общей стоимости работ увеличивается. Это связано с сокращением доли затрат на материалы. Также при этом увеличиваются затраты на основную зарплату.

2) Стоимость работ при зимнем содержании с уплотненным снежным покровом снизится на 32,2 % для II группы, на 28,5 % для III группы. При этом потребность в материалах сократится на 61,9 % для II группы, на 50,6 % для III группы. Затраты на основную зарплату увеличатся на 168,5 % для II группы, 190,2 % для III группы, на эксплуатацию машин снизятся на 19,6 % для II группы, на 25,3 % для III группы.

3) При зимнем содержании с уплотненным снежным покровом автомобильных дорог II и III групп, снизятся затраты на эксплуатацию погрузчиков на 29 % и 60 %, комбинированных дорожных машин на 47 % и 39 % соответственно. При этом увеличатся затраты на эксплуатацию машин дорожной службы на 34 % для II группы и на 38 % для III группы.

4) Стоимость работ по зимнему содержанию 1 км дорог II и III группы при переходе на технологию с уплотненным снежным покровом снизится на 32484 руб. и 17673 руб. в ценах 2014 г., на 110440 руб. и 60085 руб. суммарно за 2015-2017 г., что составит 32 % и 28 % соответственно.

Вывод

Содержание в зимнее время автомобильных дорог общего пользования Республики Татарстан, имеющих асфальтобетонное покрытие, с уплотненным снежным покровом – реальная возможность экономии средств на эксплуатацию дорог за счет снижения текущих и перспективных затрат, а также как показывает опыт, повышения безопасности дорожного движения и улучшение экологической обстановки.

Список библиографических ссылок

1. Куляшов А. П., Онкин О. И., Самарин В. П. Аналитическая оценка статистических параметров уплотненной снежной полосы движения // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева. 2010. № 1 (80). С. 144–148.
2. Кручин И. Н. Формирование снежного наката с заданными свойствами на лесовозных автомобильных дорогах // Лесной журнал. 2012. № 1/325. С. 38–41.
3. Лысянников А. В., Желудевич Р. Б., Кайзер Ю. Ф., Безбородов Ю. Н., Малышева Н. Н., Надежкин И. В. Определение оптимальных параметров угла резания уплотненного снега рабочим органом отвального типа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. № 2. С. 384–387.
4. Туркова А. О. Увеличение безопасности при устройстве снежного наката на автомобильных дорогах в зимнее время // Электронный научный журнал. 2016. № 4 (7). С. 638–642.
5. Кручинин И. Н. Прогнозирование деформации снежного покрова на лесовозных автомобильных дорогах // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО «ГИПРОДОРНИИ». 2013. № 4 (63). С. 63–68.
6. Кручинин И. Н. Особенности формирования уплотненного снежного наката на автомобильной дороге // Вестник ВолГАСУ. Строительство и архитектура. 2009. № 16 (35). С. 77–81.
7. Статистический метод расчета структуры снежного покрова в московском регионе (краткие выдержки из доклада) // Промышленный электропрогрев и электроотопление. 2013. № 3. С. 44–46.
8. Abdi A., Lind H., Birgisson B. Use of road weather information system (RWIS) as assistive tool for effective winter road maintenance – technical and contractual interactions // International journal of engineering and technology. 2012. Vol. 2. № 12. P. 2002–2012.
9. Komulainen V. Road maintenance in finland and germany : Bachelor's thesis saimaa university of applied sciences / Lappeenranta, 2011. 58 p.
10. Winter maintenance policy. Finnish road administration, central administration. Operations and plan documents. Helsinki, 2008. 34 p. URL: http://www.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf2/1000199e-v-08winter_main_policy.pdf (дата обращения: 02.03.2017).
11. Пузиков А. В., Алексиков С. В. К вопросу прогнозирования интенсивности движения автотранспорта // Вестник ВолГАСУ. Строительство и архитектура. 2005. № 5. С. 85–87.
12. Акулов В. В. Анализ методов учета интенсивности движения на автомобильных дорогах // Интернет-журнал «Науковедение». 2012. № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/1trgsu412.pdf>. (дата обращения: 02.03.2017).

Mavliev L.F. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Vdovin E.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: vdovin007@mail.ru

Fomin A.Yu. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: fomin-al.78@mail.ru

Bulanov P.E. – assistant

E-mail: f_lays@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Khayrullin R.Sh. – chief of department of operation of highways and traffic safety

E-mail: ravil.hayrullin@tatar.ru

SCI «Glavtadortrans»

The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevskiy st., 18/75.

Evaluation of winter maintenance of highways of the common use of the Republic of Tatarstan with a dense snow cover

Abstract

Problem statement. To assess the effectiveness of winter maintenance with a dense snow cover of public roads of the Republic of Tatarstan with asphalt concrete, by comparing the estimated cost of maintenance with anti-ice materials (traditional method) and with a dense snow cover.

Results It is established that the main cost item for winter maintenance and with the use of anti-ice materials, and with dense snow cover is the operation of machines. It is determined that the cost of works with winter content with a dense snow cover will decrease by 28 and 32 %, depending on the road group in terms of content. At the same time, the demand for materials will be reduced on 50 and 61 %, the costs for the basic salary will increase on 168 and 190 %, for the operation of the machines will decrease on 19 and 25 % (due to a reduction in the cost of using forklifts on 29 and 60 %, combined road machines for 39 and 47 %, the cost of operation of road maintenance vehicles will increase on 34 and 38 %). The cost of work on the winter content of 1 km of roads II and III of the content in the transition to technology with dense snow cover will decrease on 32 % and 28 %, respectively.

Conclusions. The maintenance in winter of common roads of the Tatarstan Republic, which have asphalt pavement, with a dense snow cover, is a real opportunity to save money for road maintenance by reducing current and prospective costs, as well as experience, improving road safety and improving the environmental situation.

Keywords: dense snow cover, viability, estimated cost, deicer, snow and ice control, road.

References

1. Kulyashov A. P., Onkin O. I., Samarin V. P. Analytical evaluation of statistical parameters of the compressed snow lane // Trudy nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.Ye. Alekseyeva. 2010. № 1 (80). P. 144–148.
2. Kruchin I. N. Formation of snow rolling with given properties on logging roads // Lesnoy zhurnal. 2012. № 1/325. P. 38–41.
3. Lysyannikov A. V., Zhelukevich R. B., Kayzer Yu. F., Bezborodov Yu. N., Malysheva N. N., Nadeykin I. V. Determination of optimum parameters for the angle of cutting of compacted snow by a working organ of a dump type // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2012. № 2. P. 384–387.
4. Turkova A. O. Increased safety in the construction of snow on roads in winter // Elektronnyy nauchnyy zhurnal. 2016. № 4 (7). P. 638–642.

5. Kruchinin I. N. Forecasting the deformation of snow cover on forest roads // Aktual'nyye voprosy proyektirovaniya avtomobil'nykh dorog. Sbornik nauchnykh trudov OJSC «GIPRODORNII». 2013. № 4 (63). P. 63–68.
6. Kruchinin I. N. Features of the formation of compacted snow on the road // Vestnik VolGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2009. №. 16 (35). P. 77–81.
7. The statistical method for calculating the structure of the snow cover in the Moscow region (brief excerpts from the report) // Promyshlennyy elektropogrev i elektrootopleniye. 2013. № 3. P. 44–46.
8. Abdi A., Lind H., Birgisson B. Use of road weather information system (RWIS) as assistive tool for effective winter road maintenance – technical and contractual interactions // International journal of engineering and technology. 2012. Vol. 2. № 12. P. 2002–2012.
9. Komulainen V. Road maintenance in finland and germany: Bachelor's thesis saimaa university of applied sciences // Lappeenranta, 2011. 58 p.
10. Winter maintenance policy. Finnish road administration, central administration. Operations and plan documents. Helsinki, 2008. 34 p. URL: http://www.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf2/1000199e-v-08winter_main_policy.pdf (reference date: 02.03.2017).
11. Puzikov A. V., Aleksikov S. V. On the issue of forecasting the intensity of traffic // Vestnik VolgGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2005. №. 5. P. 85–87.
12. Akulov V. V. Analysis of methods for recording traffic on roads // Internet-zhurnal «Naukovedeniye». 2012. № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/1trgsu412.pdf>. (reference date: 02.03.2017).

УДК 625.712

Хафизов Э.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: edward_76@bk.ru

Вдовин Е.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: vdovin007@mail.ru

Мавлиев Л.Ф. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Фомин А.Ю. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: fomin-al.78@mail.ru

Буланов П.Е. – ассистент

E-mail: f_lays@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Никметзянов А.Р. – заместитель начальника организационного отдела

E-mail: aidar1388@mail.ru

ГКУ «Главтатдортранс»

Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75

**Определение интенсивности движения и состава потока
на улично-дорожной сети г. Казани
в рамках исследования образования дефектов на дорожных покрытиях**

Аннотация

Постановка задачи. Осуществить сбор, обработку, расчет и анализ данных по интенсивности и скоростям движения на полосах проезжей части обследуемых объектов улично-дорожной сети города Казани, провести натурные замеры и определение интенсивности, состава транспортного потока по полосам движения.

Результаты. Установлено, что на обследуемых участках Проспекта Победы и Проспекта Универсиады интенсивность движения распределена неравномерно по полосам. На ул. Тихомирнова и Ф. Амирхана интенсивность движения на левых полосах выше, чем на правых. Определено, что фактическая интенсивность движения превышает проектную до 6 раз, что требует учета при выборе материалов покрытия. Скорость движения на крайней левой полосе превышает скорость на остальных полосах проезжей части и в большинстве случаев допустимую ПДД – 60 км/ч. Проведенные замеры интенсивности и состава транспортного потока показали, что интенсивность в час пик также как суточная распределена неравномерно по полосам движения, а доля легкового транспорта составляет на крайних левых полосах 96-99 % и снижается на остальных до 79 %. Интенсивность движения легкового транспорта в час пик достигает 700-2000 автомобилей на наиболее нагруженную полосу.

Выводы. Состав потока, интенсивность и скорость движения оказали интегральное воздействие на образование дефектов на проезжей части обследуемых участков улично-дорожной сети.

Ключевые слова: интенсивность движения, скорость движения, состав потока, улично-дорожная сеть.

Введение

В настоящее время проблема образования дефектов на покрытиях проезжей части автомобильных дорог и улично-дорожной сети в Российской Федерации и зарубежных странах становится актуальной. Неровность в поперечном направлении отрицательно влияет на транспортно-эксплуатационное состояние дорог. Ускоряется процесс разрушения дорожных покрытий, снижается скорость движения, межремонтный срок и производительность автотранспорта, а также ухудшаются условия и безопасность движения [1-10].

Прирост транспорта, повышение доли автомобилей с высокими динамическими характеристиками ускорили процесс разрушения асфальтобетонных покрытий. Так, в последние годы на участках ряда магистральных улиц Москвы, Санкт-Петербурга,

Казани, а также городов Германии, Швеции, Финляндии наблюдается образование поперечной неровности, особенно на левых полосах движения легкового транспорта. Предполагается, что причина данного явления состоит не в накоплении остаточных деформаций в слоях дорожной одежды, а в интенсивном процессе износа покрытия при движении легковых автомобилей.

Наибольший износ и образование поперечной неровности на дорогах наблюдается в районах расположения светофоров, пересечений, на участках торможения и разгона, что в свою очередь связано с увеличением сил трения, возникающих в зоне контакта колеса автомобиля с поверхностью дорожного покрытия.

В качестве объектов обследования были определены следующие участки улично-дорожной сети г. Казани: Пр. Победы от ул. Ак. Губкина до ул. Р. Зорге; пр. Универсиады, ул. Тихомирнова; участок ул. Ф. Амирхана от моста «Миллениум» до ул. Х. Ямашева. В данной статье в качестве примера приведены схемы и рисунки по участку ул. Тихомирного.

В ходе работы осуществлен сбор, обработка, расчет и анализ данных по интенсивности и скоростям движения на полосах движения проезжей части обследуемых объектов улично-дорожной сети города Казани, проведены натурные замеры и определение интенсивности, состава транспортного потока по полосам движения.

Сбор, обработка, расчет и анализ данных по интенсивности и скоростям на полосах движения проезжей части обследуемых объектов улично-дорожной сети г. Казани

Суточная интенсивность и средняя скорость движения на полосах проезжей части определена с использованием данных постоянного учета автоматическими счетчиками МУ «АСУДД» и системы «Автодория». Результаты обработки автоматического учета отражены в виде схем участков обследуемых улиц (рис. 1).



Рис. 1. График распределения скорости и суточной интенсивности движения на участке ул. Тихомирнова по данным автоматического учета

При проектировании новых и реконструкции эксплуатирующихся дорог одним из главных параметров, используемых в технико-экономических расчетах, является интенсивность движения. Суточная интенсивность движения используется для расчетов дорожной одежды и экономических показателей, а часовая – для расчета пропускной способности дороги, разработки мероприятий по повышению безопасности движения.

По данным МУ АСУДД суточная интенсивность движения на исследуемых участках составила:

- по Проспекту Победы от ул. Р. Зорге до ул. Ломжинская: на пересечении с ул. Ломжинская со стороны ул. Минская в сторону ул. Минская – 56536 авт/сут; со стороны ул. Чишмале в сторону ул. Чишмале – 45618 авт/сут, в сторону ул. Минская – 46747 авт/сут;

- по Проспекту Победы от ул. Ломжинская до ул. Минская: на пересечении с ул. Минская со стороны ул. Закиева в сторону ул. Закиева – 54473 авт/сут, со стороны ул. Ломжинская в сторону ул. Ломжинская – 59359 авт/сут;

- по Проспекту Победы от ул. Минская до ул. Ак. Губкина: на пересечении с ул. Губкина со стороны ул. Арбузова в сторону ул. Арбузова – 66658 авт/сут, в сторону ул. Аграрная – 47304 авт/сут; со стороны ул. Аграрная в сторону ул. Арбузова – 64244 авт/сут, в сторону ул. Аграрная – 64149 авт/сут;

- по Проспекту Универсиады: в сторону ул. Н. Назарбаева – 14588 авт/сут, в сторону ул. Даурская – 23023 авт/сут;

- по ул. Тихомирнова: в сторону ул. Пушкина – 26182 авт/сут, в сторону ул. Н. Назарбаева – 20675 авт/сут;

- по ул. Ф. Амирхана от моста «Миллениум» до ул. Х. Ямашева: в сторону ул. Х. Ямашева – 22255 авт/сут, в сторону моста «Миллениум» – 25419 авт/сут.

Суточная интенсивность на Проспекте Победы от ул. Р. Зорге до ул. Ломжинская, от ул. Ломжинская до ул. Минская, от ул. Минская до ул. Ак. Губкина распределена неравномерно: так в большинстве случаев на первой полосе слева интенсивность меньше, чем на второй и третьей полосах. Интенсивность на четвертой полосе слева в большинстве случаев меньше интенсивности на первых трех полосах. При этом средняя скорость движения на крайней левой полосе выше, чем на второй и третьей слева на 6,3-13,8 % или на 4-8 км/ч.

Суточная интенсивность на Проспекте Универсиады от ул. Н. Назарбаева до ул. Даурская, от ул. Даурская до Танкового кольца распределена также неравномерно: на первой полосе слева интенсивность меньше, чем на второй во всех сечениях, а также при движении в сторону ул. Даурской, чем на третьей. При этом средняя скорость движения на крайней левой полосе выше, чем на второй и третьей на 1,6-7,6 % или на 1-5 км/ч.

По ул. Тихомирнова от ул. Вишневого до ул. Пушкина интенсивность на левой полосе выше, чем на правой, средняя скорость при этом также выше на 6,0-6,3 % или на 3-4 км/ч (рис. 1).

Интенсивность на левой полосе выше, чем на правой части по ул. Ф. Амирхана от ул. Х. Ямашева до моста «Миллениум», средняя скорость движения на левых полосах проезжей части выше, чем на правых, на 6,6-7,3 % или на 4 км/ч.

Возможно, снижение интенсивности на крайней левой полосе относительно остальных связано с неудовлетворительным состоянием данной полосы и перемещением потока на соседние полосы.

Согласно п. 10.2 Правил дорожного движения, в населенных пунктах разрешается движение транспортных средств со скоростью не более 60 км/ч. Скорость движения транспорта на большинстве полос обследуемых участков превышает разрешенную ПДД на величину 1-11 км/ч. При этом скорость на крайней левой полосе превышает скорость на остальных полосах.

Для расчета дорожной одежды на проектируемом участке БКК был использован анализ интенсивности движения и состава транспортного потока, приведенный в отчёте «Программа развития улично-дорожной сети города Казани на период до 2013 года с прогнозом до 2020 года» (ул. Академика Арбузова – 4720 физ. авт./час в оба направления или 62105 авт./сут; на пр. Хусаина Ямашева – 4280 физ. авт./час или 56316 авт./сут в оба направления). Также были использованы сведения ГИБДД г. Казани о количестве, составе и приросте транспорта за последние 10 лет. Таким образом, по состоянию на 2011 г. количество автомобилей в городе составляло порядка 277375 ед. из них легковые автомобили – 250034 ед. (90 % от всего состава), грузовые – 22908 ед. (8 %) и автобусы – 4433 ед. (2 %). Ежегодный средний прирост по видам транспорта за последние 10 лет составил: легковые автомобили – 8,8 %, грузовые – 0,5 %, автобусы – 0,2 %. В среднем, по всему потоку – 7,3 %.

Для расчета конструкции дорожной одежды имеют значение именно нагрузки от тяжелых видов транспорта, рост интенсивности которого за последние 10 лет был незначительным, а количество автобусов даже уменьшилось в отдельные годы из-за перехода на более вместительные и комфортабельные современные модели автобусов.

По данным проектной документации (расчет дорожной одежды) интенсивность движения на первый год эксплуатации по Пр. Победы принята 3575 авт/сут на полосу, из которых интенсивность легковых автомобилей 3077 авт/сут. В настоящее время фактическая интенсивность превышает проектную до 6 раз. По Пр. Универсиады перспективная интенсивность к 2028 г. принята 2770 авт/час на всю проезжую часть. В настоящее время интенсивность уже превышает перспективную в 1,5-2 раза.

По данным АСУДД на 16 марта 2016 г. интенсивность на полосах движения легкового транспорта составляла 9007-18473 авт/сут на полосу, что существенно превышает проектные значения. Однако, около 90 % транспорта представлено легковыми автомобилями, которые в расчетах дорожной одежды не участвуют. Поэтому рост интенсивности легкового транспорта (в данном случае до 6 раз) требуется учитывать при выборе материалов покрытия.

Натурные замеры и определение интенсивности, состава транспортного потока по полосам движения

На эксплуатирующихся дорогах часовая интенсивность определяется непосредственными наблюдениями или по результатам автоматического учета движения в соответствии с ВСН 42-87 «Инструкция по проведению экономических изысканий для проектирования автомобильных дорог».

Методика проведения учета интенсивности и состава потока:

1. Поперечный учет движения на дорожной сети, выделенной для этой цели, проводился методом учета интенсивности движения с использованием данных выборочного учета непосредственными наблюдениями.

2. Учет транспортных средств непосредственными наблюдениями проводился раздельно по направлениям движения в течение часа в период 8.00-9.00 (час пик).

3. Размещение пунктов учета движения.

Улично-дорожную сеть разбили на участки учета движения так, чтобы поперечный учет движения на данном учетном пункте давал соответствующее отражение движения на этом участке дороги. Границы участков движения установили там, где имеется существенное изменение интенсивности движения (перекрестки, примыкания). На каждом участке учета движения размещали один учетный пункт.

4. Виды и группы транспортных средств.

Для сравнения результатов учета движения классифицировали транспортные средства по следующим видам и группам:

а.) Легковые автомобили.

б.) Грузовые автомобили:

- грузоподъемностью до 2 тонн;

- грузоподъемностью 2-6 тонн;

- грузоподъемностью 6-8 тонн;

- грузоподъемностью более 6 тонн.

в.) Микроавтобусы.

г.) Автобусы.

5. Результаты учета движения.

Для сравнения результатов поперечного учета движения на улично-дорожной сети при проведении непосредственных наблюдений отразили в табличной форме следующие данные:

- Сечение;

- Сторона;

- Полоса;

- Интенсивность по составу движения, ед.;

- Общая интенсивность;

- Состав движения.

В результате проведенного учета движения установлено (рис. 2):

- по Проспекту Победы от ул. Р. Зорге до ул. Ломжинская: на пересечении с ул. Ломжинская со стороны ул. Минская интенсивность движения в период 8:00-9:00 в сторону ул. Минская составила 4043 авт/час (93,05 % легковых автомобилей), в сторону ул. Чишмале – 4458 авт/час (93,76 % легковых автомобилей); со стороны ул. Чишмале интенсивность движения в сторону ул. Минская составила 3983 авт/час (94,18 % легковых автомобилей), в сторону ул. Чишмале – 3835 авт/час (94,08 % легковых автомобилей).



Рис. 2. Определение интенсивности движения и состава потока на ул. Тихомирнова непосредственными наблюдениями

В результате проведенного учета движения установлено:

- по Проспекту Победы от ул. Р. Зорге до ул. Ломжинская: на пересечении с ул. Ломжинская со стороны ул. Минская интенсивность движения в период 8.00-9.00 в сторону ул. Минская составила 4043 авт/час (93,05 % легковых автомобилей), в сторону ул. Чишмале – 4458 авт/час (93,76 % легковых автомобилей); со стороны ул. Чишмале интенсивность движения в сторону ул. Минская составила 3983 авт/час (94,18 % легковых автомобилей), в сторону ул. Чишмале – 3835 авт/час (94,08 % легковых автомобилей).

- по Проспекту Победы от ул. Ломжинская до ул. Минская: на пересечении с ул. Минская со стороны ул. Закиева интенсивность движения в период 8.00-9.00 в сторону ул. Закиева составила 5186 авт/час (93,06 % легковых автомобилей), в сторону ул. Ломжинская – 4002 авт/час (91,63 % легковых автомобилей).

- по Проспекту Победы от ул. Минская до ул. Губкина: на пересечении с ул. Губкина со стороны ул. Арбузова интенсивность движения в период 8.00-9.00 в сторону ул. Арбузова составило 5560 авт/час (92,99 % легковых автомобилей), в сторону ул. Аграрная – 3290 авт/час (90,73 % легковых автомобилей); со стороны ул. Аграрная в сторону ул. Арбузова составила 5652 авт/час (94,07 % легковых автомобилей), в сторону ул. Аграрная – 4906 авт/час (92,68 % легковых автомобилей).

- по Проспекту Универсиады от ул. Н. Назарбаева до Танкового кольца: на примыкании ул. Газовая в сторону ул. Н. Назарбаева – 1752 авт/сут (96,69 % легковых автомобилей), в сторону ул. Даурская – 2951 авт/сут (97,83 % легковых автомобилей).

- по ул. Тихомирнова от ул. Н. Назарбаева до ул. Щербаковский переулок: на примыкании ул. Щепкина в сторону ул. Щербаковский переулок – 2095 авт/сут (98,23 % легковых автомобилей), в сторону ул. Н. Назарбаева – 932 авт/сут (98,18 % легковых автомобилей) (рис. 3).

- по ул. Ф. Амирхана от ул. Ямашева до моста «Миллениум»: на пересечении в двух уровнях с ул. Чистопольская в сторону ул. Ямашева – 2164 авт/сут (91,22 % легковых автомобилей), в сторону моста «Миллениум» – 3348 авт/сут (96,21 % легковых автомобилей).

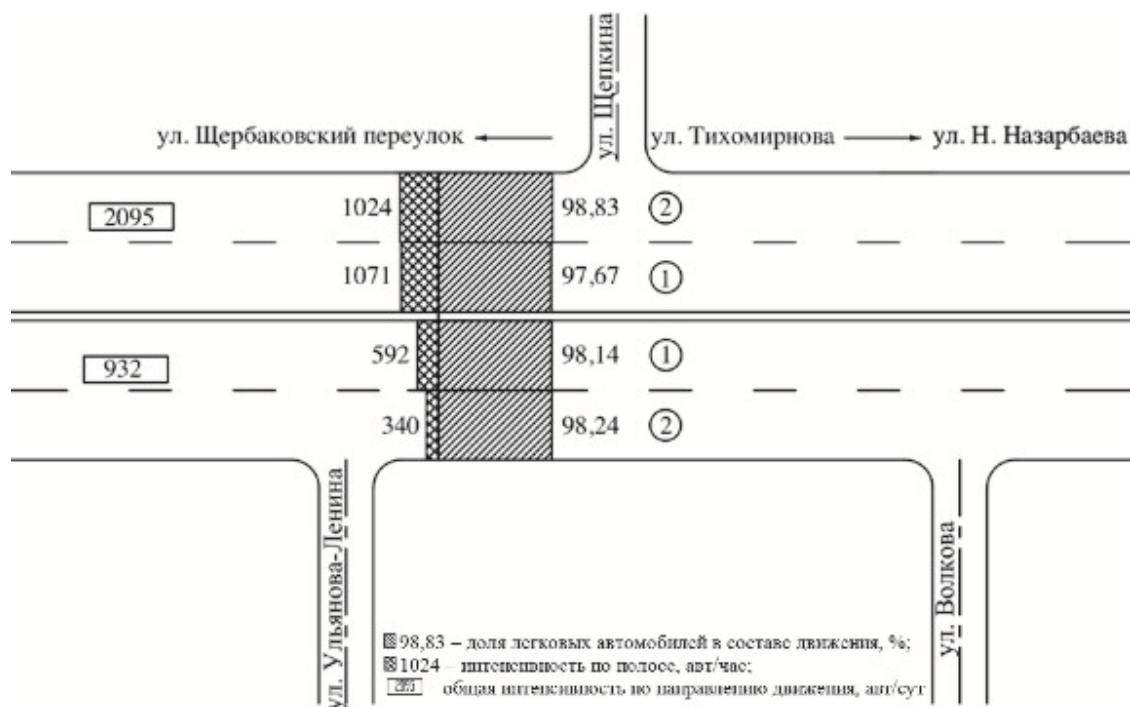


Рис. 3. График распределения часовой интенсивности движения и доля легковых автомобилей в составе потока на участке ул. Тихомирнова по данным непосредственных наблюдений

Неравномерность распределения интенсивности движения в час пик проявляется в меньшей степени в сравнении с суточной интенсивностью. Неравномерность в большей степени наблюдается из-за поворачивающих автомобилей с крайних правых полос или на крайние правые полосы движения.

Следует отметить, что на крайних левых полосах доля легкового транспорта составляет 96-99 % и снижается на остальных до 79 %.

В соответствии с полученными результатами учета следует отметить, что на образование дефектов на проезжей части обследуемых участков улично-дорожной сети оказали интегральное воздействие все определяемые показатели – состав потока, интенсивность и скорость движения.

Выводы

1. Установлено, что на обследуемых участках Проспекта Победы и Проспекта Универсиады интенсивность движения распределена неравномерно по полосам. На ул. Тихомирнова и Ф. Амирхана интенсивность движения на левых полосах выше, чем на правых.

2. Определено, что фактическая интенсивность движения превышает проектную до 6 раз. Большая часть транспорта (79-99 %) представлена легковыми автомобилями, которые в расчетах дорожной одежды не участвуют, поэтому рост интенсивности и доли легкового транспорта требуется учитывать при выборе материалов покрытия. Скорость движения на крайней левой полосе превышает скорость на остальных полосах проезжей части и в большинстве случаев допустимую ПДД – 60 км/ч.

3. Проведенные замеры интенсивности и состава транспортного потока показали, что интенсивность в час пик также как суточная распределена неравномерно по полосам движения, а доля легкового транспорта составляет на крайних левых полосах 96-99 % и снижается на остальных до 79 %. Интенсивность движения легкового транспорта в час пик достигает 700-2000 автомобилей на наиболее нагруженную полосу.

4. Состав потока, интенсивность и скорость движения оказали интегральное воздействия на образование дефектов на проезжей части обследуемых участков улично-дорожной сети.

Список библиографических ссылок

1. Матуа В. П., Панасюк Л. Н. Прогнозирование и учет накопления остаточных деформаций в дорожных конструкциях. Ростов-н/Д : Рост. гос. строит. ун-т, 2001. 372 с.
2. Wang H., Fan Z., Zhang J. Development of a Full-Depth Wheel Tracking Test for Asphalt Pavement Structure: Methods and Performance Evaluation // Advances in material science and engineering. 2016. Vol. 2016. № 23. P. 976–983.
3. Guan H. X., Zhang Q. S., Xu Y., Luo Z. Rut control standard for asphalt surface total-thickness samples // China civil engineering journal. 2011. Vol. 44. № 9. P. 124–129.
4. Углова Е. В. Моделирование деформирования нежестких дорожных конструкций при воздействии движущего транспорта // Известия вузов. Строительство. 2009. № 34. С. 31–35.
5. Liao W., Chen Z., Wu S., Mo L., Liu G. Rutting resistance of asphalt overlay with multilayer wheel tracking test // Journal Wuhan University of Technology. 2006. Vol. 21. № 3. P. 142–145.
6. Юшков Б. С., Сергеев А. С., Бажуков Н.М. Причины возникновения колеи на автомобильных дорогах // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. 2015. № 1. С. 401–407.
7. Korkila-Tanttu L. Speed and reloading effects on pavement rutting // Proceedings of the institution of civil engineers: geotechnical engineering. 2007. Vol. 160. № 3. P. 123–127.
8. Костельов М. П., Перевалов В. П., Пахаренко Д. В. Практика борьбы с колеиностью асфальтобетонных покрытий может быть успешной // Дорожная техника. 2011. С. 54–70.
9. Поздняков М. К., Быстров Н. В. Разработка метода оценки сопротивляемости асфальтобетона колееобразованию : сб. ст. Ассоциация исследователей асфальтобетона / МАДИ. Москва, 2010. С. 7–17.
10. Подольский В. П., Нгуен В. Л., Черноусов Д. И. Причины колееобразования на асфальтобетонных покрытиях и методы повышения их деформативной устойчивости в условиях южного Вьетнама // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2013. № 1 (29). С. 57–65.

Khafizov E.R. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: edward_76@bk.ru

Vdovin E.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: vdovin007@mail.ru

Mavliev L.F. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Fomin A.Yu. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: fomin-al.78@mail.ru

Bulanov P.E. – assistant

E-mail: f_lays@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Nikmetzyanov A.R. – the deputy chief of department of the organization

E-mail: aidar1388@mail.ru

SCI «Glavtadortrans»

The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevskiy st., 18/75

Determination of the volume of traffic and speed of movement on the street-road network in Kazan in the framework of the study of a formation of defects on road surfaces**Abstract**

Problem statement. To collect, process, calculate and analyze data on the intensity and

speed of traffic on the lanes of the road sections of the surveyed objects of the street-road network in Kazan, conduct in-depth measurements and determine the intensity and composition of the traffic flow along the lanes.

Results. It was established that the traffic intensity in the surveyed areas of the Prospekt Pobedy and the Universiade Prospectus is unevenly distributed across the bands. On the street. Tikhomirnov and F. Amirkhan, volume of traffic on the left lanes is higher than on the right. It is determined that the actual volume of traffic exceeds the projected intensity up to 6 times, which requires consideration when choosing coating materials. The speed of movement on the extreme left lane exceeds the speed on the remaining lanes of the carriageway and in most cases the permissible traffic law is 60 km / h. The carried-out measurements of the intensity and construction of traffic stream showed that the intensity during peak hours, as well as the daily distribution, is unevenly distributed along the lanes, while the share of passenger transport is 96-99 % in the extreme left bands and 79 % lower in the remaining left bands. The volume of traffic of passenger transport at rush hour reaches 700-2000 cars per the most loaded lane.

Conclusions. Construction of traffic stream, volume of traffic and speed of movement had an integral effect on the formation of defects on the carriageway of the surveyed sections of the street-road network.

Keywords: volume of traffic, speed of movement, construction of traffic stream, street-road network.

References

1. Matua V. P., Panasyuk L. N. Forecasting and accounting for the accumulation of residual deformations in road structures. Rostov-n/D : Rost. gos. stroit. un-t, 2001. 372 p.
2. Wang H., Fan Z., Zhang J. Development of a Full-Depth Wheel Tracking Test for Asphalt Pavement Structure: Methods and Performance Evaluation // Advances in material science and engineering. 2016. Vol. 2016. № 23. P. 976–983.
3. Guan H. X., Zhang Q. S., Xu Y., Luo Z. Rut control standard for asphalt surface total-thickness samples // China civil engineering journal. 2011. Vol. 44. № 9. P. 124–129.
4. Uglova Ye. V. Modeling of deformation of nonrigid road structures under the influence of driving vehicles // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2009. № 34. P. 31–35.
5. Liao W., Chen Z., Wu S., Mo L., Liu G. Rutting resistance of asphalt overlay with multilayer wheel tracking test // Journal Wuhan University of Technology. 2006. Vol. 21. № 3. P. 142–145.
6. Yushkov B. S., Sergeyev A. S., Bazhukov N. M. The causes of the appearance of ruts on highways // Ekologiya i nauchno-tekhnicheskiy progress. Urbanistika. 2015. № 1. P. 401–407.
7. Korkila-Tanttu L. Speed and reloading effects on pavement rutting // Proceedings of the institution of civil engineers: geotechnical engineering. 2007. Vol. 160. № 3 P. 123–127.
8. Kostel'ov M. P., Perevalov V. P., Pakharenko D. V. The practice of combating the rutness of asphalt concrete pavements can be successful // Dorozhnaya tekhnika. 2011. P. 54–70.
9. Pozdnyakov M. K., Bystrov N. V. The development of a method for assessing the resistance of asphalt roadways to tails : dig. of art. Assotsiatsiya issledovateley asfal'tobetona / MADI. M., 2010. P. 7–17.
10. Podol'skiy V. P., Nguyen V. L., Chernousov D. I. The reasons for the rutting on asphalt concrete pavements and methods for increasing their deformative stability in the conditions of southern Vietnam // Nauchnyy vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2013. № 1 (29). P. 57–65.

УДК 625.878.72

Хафизов Э.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: hafizov@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Семенов Д.Ю. – геодезист

E-mail: dima18.07.93@mail.ru

Производственно-торговая компания «ВСК-2000»

Адрес организации: 420005, г. Казань, ул. Южно-Промышленная, д. 9

Повышение качества дорожных покрытий путем введения в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь добавок резиновой крошки

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы явилось исследование влияния добавок резиновой крошки на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Результаты. Проведен сравнительный анализ физико-механических свойств традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона и щебеночно-мастичного асфальтобетона модифицированного резиновой крошкой из утилизированных шин «КМА» Колтек.

Выводы. Проведенное исследование показало, что введение резиновой крошки в щебеночно-мастичный асфальтобетон позволяет повысить показатели предела прочности на сжатие при 20 и 50°C, предела прочности на растяжение при расколе при 0 °C, сцепления при сдвиге, усталостной прочности и водостойкости, снизить показатель водонасыщения. Выявлено, что оптимальное содержание добавки резиновой крошки в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона составляет 1 %. Повышения качества и увеличения сроков службы дорожных покрытий автомобильной дороги можно добиться за счет введения на этапе приготовления в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси модифицирующей добавки – резиновой крошки.

Ключевые слова: автомобильная дорога, щебеночно-мастичный асфальтобетон, резиновая крошка, прочность, модификатор.

Для эффективного функционирования и роста экономики государства необходимо развитие торговли, сельского хозяйства, отраслей промышленности и др. Для этого необходимы качественные и долговечные автомобильные дороги, соответствующие действующим транспортно-эксплуатационным показателям, что способствует увеличению товарооборота как внутри страны, так и за ее пределами. В связи с развитием этих сфер в России возрастает интенсивность движения, и увеличиваются нагрузки на дорожное покрытие. Основными дефектами образующимися в процессе эксплуатации автомобильных дорог являются проломы, трещины, шелушение, выбоины, колеиность.

Еще одной проблемой является утилизация мусора, в частности резиновых автомобильных покрышек. С ростом числа автомобилей эта проблема так же становится очень актуальной. Покрышки не подвергаются биологическому разложению, поэтому их утилизация заключается в основном в захоронении и сжигании. При этом ухудшается экологическая обстановка. Наиболее предпочтительна переработка изношенных шин с дальнейшим использованием вторичного сырья [1]. Это позволит улучшить экологическую обстановку и исключит утрату больших территорий под захоронение резиновых отходов.

Применение резиновой крошки в качестве добавки в асфальтобетонную смесь решает сразу две проблемы – повышение качества покрытий и утилизация изношенных шин. Со строительством завода компанией «Колтек Кама» в г. Нижнекамске, основной специализацией которой является, сбор, переработка шин, изготовление резиносодержащего модификатора для дорожных покрытий решение вопроса утилизации отработанных шин является очень актуальным.

В России и за рубежом для устройства верхних слоев дорожных покрытий широко используются многощелебнистые асфальтобетоны, в частности щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). Исследования показывают, что при испытаниях различных гранулометрических составов асфальтобетонов, многощелебнистые асфальтобетоны превосходят по показателям физико-механических свойства асфальтобетонов других типов [2].

В данной статье рассмотрены результаты влияния добавок резиновой крошки в щебеночно-мастичный асфальтобетон марки ЩМА 15.

Существует два способа использования резиновой крошки при приготовлении асфальтобетонной смеси. Первый способ заключается в использовании резино-битумных вяжущих – «мокрый» способ. Этот способ наиболее затратный, он требует специального оборудования для модификации битума резиновой крошкой, который затем вводится в асфальтосмесительную установку. Приготовление резино-битумных вяжущих осуществляется в реакционных котлах при температурах от 190 °С до 226 °С в течение 45 минут. Второй способ заключается во введении резиновой крошки непосредственно во время приготовления асфальтобетонной смеси в смеситель – «сухой» способ. Он менее затратный, так как в качестве дополнительного оборудования требуется только дозатор, который может обеспечить точность дозирования $\pm 5\%$. Резиновая крошка вводится в не нагретом состоянии к минеральным материалам, в процессе перемешивания нагревается, далее подается битум и асфальтобетонная смесь перемешивается. Кроме того, если ранее производился щебеночно-мастичный асфальтобетон, то модернизация асфальтосмесительной установки не требуется, так как при введении резиновой крошки, за счет модификации битума, отпадает необходимость в использовании стабилизирующей добавки и ее дозирование может осуществляться тем же оборудованием.

В статье рассматривается приготовление асфальтобетонной смеси по второму способу. При введении добавок резиновой крошки в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь происходит модификация битума на этапе ее приготовления за счет растворения части резиновой крошки и воздействия химических компонентов. Частицы мелкодисперсной резиновой крошки не растворившиеся в вяжущем работают в асфальтобетоне, как эластичные центры, которые снимают внутренние напряжения и уменьшают пластические деформации. За счет образования трёхмерного микрокаркаса повышается прочность асфальтобетона и снижается его чувствительность к температурным воздействиям. Объемная сетчатая структура резиновых частиц повышает стойкость к циклическим деформациям в широком диапазоне эксплуатационных температур, усталостную прочность асфальтобетона и уменьшает остаточные деформации покрытия, предотвращая образование микротрещин [3, 4, 5].

Для определения влияния добавок резиновой крошки на физико-механические свойства ЩМА, были изготовлены образцы ЩМА на битуме марки БНД 60/90 с содержанием резиновой крошки от 0,5 до 1,5 % (табл. 1). В качестве добавки был взят комплексный модификатор асфальтобетона «КМА» компании Колтек Кама – СТО 17423242-006-2007 «Комплексный модификатор асфальтобетон «КМА» Колтек. Технические условия». Основным его компонентом является мелкодисперсный резиновый порошок из утилизированных автомобильных шин. Так же в его состав входят: ускоритель набухания резины в битуме, сшивающий агент, гелеобразующая адгезионная добавка, для предотвращения отслоения битумной плёнки с поверхности минеральных материалов асфальтобетона, пластификатор, антиоксидант, минеральный наполнитель.

Испытания проводились на стандартных цилиндрических образцах ЩМА высотой $71,4 \pm 1,5$ мм по ГОСТ 12801-98. Определялись следующие физико-механические показатели: предел прочности при сжатии при 20 и 50 °С, предел прочности на растяжение при расколе при 0 °С, водонасыщение, водостойкость, сцепление при сдвиге (табл. 2), показатель усталостной прочности (табл. 3). Эффективность резиновой крошки в зависимости от ее содержания в составе щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, определялась путем сравнения показателей физико-механических свойств образцов приготовленных из смеси с модификатором и образцов из традиционных щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Также проверялось соответствие физико-механических показателей требованиям ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия».

Таблица 1

Составы щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей

| Компоненты ЩМА | Состав № 1 | Состав № 2 | Состав № 3 | Состав № 4 |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Щебень М 1200, фр. 10-15 мм | 48 % | 48 % | 48 % | 48 % |
| Щебень М 1200, фр. 5-10 мм | 20 % | 20 % | 20 % | 20 % |
| Песок из отсевов дробления 0-5 мм | 20 % | 20 % | 20 % | 20 % |
| Активированный минеральный порошок марки МП-1 | 12 % | 12 % | 12 % | 12 % |
| Стабилизирующая добавка «Viator 66» (целлюлозная) | 0,45 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Модификатор «КМА» Колтек | 0 % | 0,5 % | 1,0 % | 1,5 % |
| Битум БНД 60/90 | 6 % | 6 % | 6 % | 6 % |

Таблица 2

Показатели физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона с различным содержанием резиновой крошки

| Содержание резиновой крошки, % | Предел прочности при сжатии, МПа | | Предел прочности на растяжение при расколе, МПа | Водонасыщение | Водостойкость | Сцепление при сдвиге |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------|---|---------------|---------------|----------------------|
| | При 20 °С | При 50 °С | | | | |
| 0 | 2,8 | 1,1 | 3,6 | 2,8 | 0,86 | 0,23 |
| 0,5 | 3,3 | 1,4 | 4,1 | 2,4 | 0,90 | 0,28 |
| 1,0 | 3,6 | 1,7 | 4,4 | 2,2 | 0,93 | 0,34 |
| 1,5 | 3,8 | 1,8 | 4,4 | 2,1 | 0,94 | 0,36 |
| Требование по ГОСТ 31015-2002 | не менее 2,2 | не менее 0,65 | 2,5-6,0 | 1,0-4,0 | не менее 0,85 | не менее 0,18 |

Из анализа графика на рис. 1 видно, что введение в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси модификатора «КМА» Колтек в количестве 0,5 % от массы минеральной части взамен стабилизирующей добавки «Viator 66» позволяет увеличить показатель предела прочности на сжатие асфальтобетона при 50 °С на 21 %, при увеличении содержания модификатора до 1,0 % данный показатель увеличивается на 35 %, далее при увеличении содержания модификатора до 1,5 % предел прочности на сжатие возрастает незначительно – увеличение составляет 38 %.

Из графика (рис. 2) видно, что введение в состав ЩМА модификатора «КМА» Колтек в количестве 1,0 % от массы минеральной части однозначно положительно влияет на повышение предела прочности на растяжении при расколе. Увеличение предела прочности составляет 18 %, при дальнейшем увеличении содержания резиновой крошки данный показатель не изменяется. Частицы резиновой крошки, входящие в структуру ЩМА служат центрами торможения и развития трещин, поэтому при прочих равных условиях ЩМА с модификатором будет более трещиностойким при пониженных температурах по сравнению с традиционным ЩМА.

Введение резиновой крошки, также положительно сказывается и на показателе водонасыщения ЩМА. Так, например, введение 0,5 % добавки в смесь приводит к снижению данного показателя на 14 %, а введение 1 % добавки до 21 %. Следовательно, структура ЩМА с добавкой модификатора обладает большим количеством замкнутых пор в объеме, что приводит к снижению показателя водонасыщения и повышению водостойкости (табл. 2).

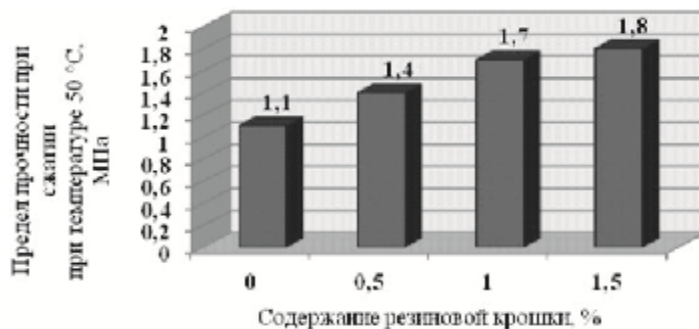


Рис. 1. Зависимость показателя предел прочности при сжатии при температуре 50 °С щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА 15 от содержания резиновой крошки

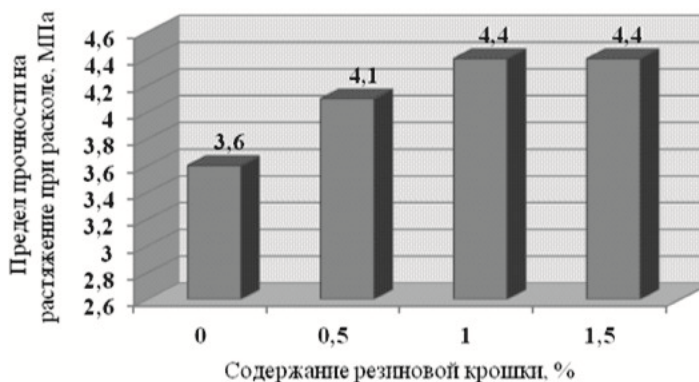


Рис. 2. Зависимость показателя предела прочности на растяжение при расколе щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА 15 от содержания резиновой крошки

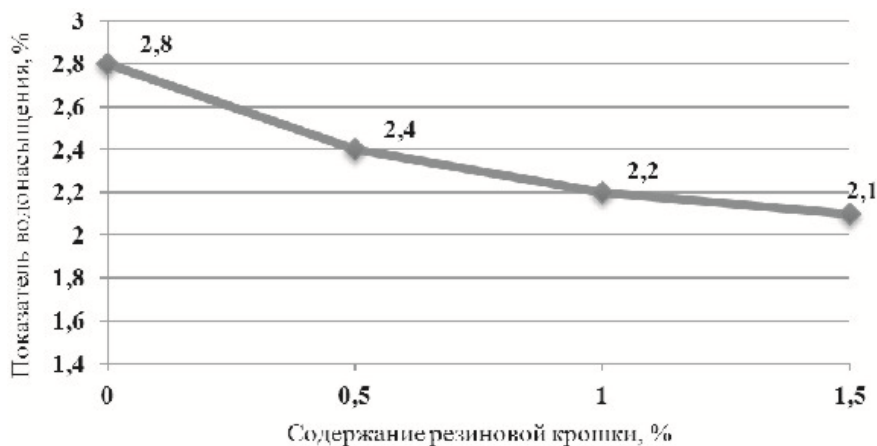


Рис. 3. Зависимость показателя водонасыщения щебеночно-мастичного асфальтобетона

Из графика (рис. 4) видно, что введение в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМА 15 модификатора «КМА» Колтек, в количестве 0,5% от массы минеральной части взамен стабилизирующей добавки Viator 66 позволяет повысить показатель сцепления при сдвиге асфальтобетона на 18 %, при увеличении содержание модификатора до 1,0 % этот показатель увеличивается на 32 %, а при увеличении до 1,5 % коэффициент сцепления при сдвиге асфальтобетона увеличивается незначительно – до 36 %. Согласно ГОСТ 31015-2002 значение сцепления при сдвиге по схеме Маршалла для ЩМА марки 15 должно быть не менее 0,18, следовательно ЩМА с применением резиновой крошки будет более сдигоустойчивым, что положительно скажется при его эксплуатации в жаркий летний период.

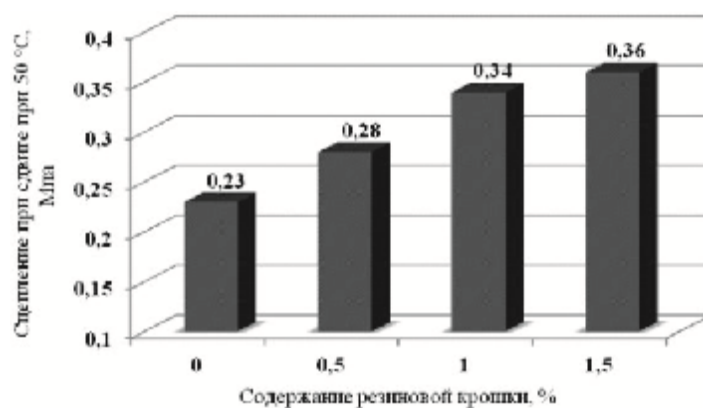


Рис. 4. Зависимость сцепления при сдвиге щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА 15 от содержания резинового крошки

Для получения результатов влияния резиновой крошки на показатель усталостной прочности образцов ЩМА проводилось испытание, сущность которого заключается в определении числа циклов нагружения образца до его разрушения при заданном напряжении. Для проведения испытания была использована пневматическая система компании Cooper Research Technology CRT-SA4PT-BB с использованием программного обеспечения BEAM-FLEX фирмы Cooper Research Technology.

На установке образец подвергается циклической нагрузке равной 50 % от значения предела прочности при сжатии при 20 °С, направленной попеременно вверх-вниз. Чем большее количество циклов нагружения до потери 50 % прочности выдерживает образец из асфальтобетонной смеси, тем более долговечным он считается.

Результаты определения максимального количества циклов, которое выдержал образец до разрушения с различным содержанием резиновой крошки по методу 4-х точечного изгиба представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения усталостной прочности образцов ЩМА

| Содержание резиновой крошки, % | Количество циклов нагружения до разрушения при нагрузке равной 50 % от значения предела прочности при сжатии при 20 °С |
|--------------------------------|--|
| 0 | 12412 |
| 0,5 | 14405 |
| 1,0 | 15175 |
| 1,5 | 14293 |

Введение в состав ЩМА резиновой крошки в количестве 0,5 % от массы минеральной части позволило повысить показатель усталостной прочности на 16 %, при увеличении содержания крошки до 1,0 % данный показатель повысился на 22 %, а при увеличении содержания крошки до 1,5 % показатель усталостной прочности повышается на 15 % по сравнению с исходным составом на стабилизирующей добавке Viatop 66.

На основе проведенных исследований можно заключить, что оптимальным содержанием добавки резиновой крошки в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь является 1 %, так как дальнейшее увеличение содержания модификатора до 1,5 % не приносит значительного улучшения свойств. Введение резиновой крошки в процессе приготовления в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси, однозначно положительно влияет на физико-механические свойства ЩМА.

Проведенные технико-экономические расчеты показали, что, несмотря на увеличение стоимости работ, по устройству верхних слоев покрытий из ЩМА с резиновой крошкой (3551644 руб. на 1 км), взамен ЩМА без добавления резиновой крошки и укладкой по традиционной технологии (2577537 руб. на 1 км) экономическая эффективность составит 744251 руб. на 1 км дороги шириной покрытия 7 м, то есть приблизительно 20 % при повышении межремонтного срока службы с 3-х до 5-и лет.

Таким образом, резиновая крошка улучшая физико-механические свойства ЩМА, повышает качество дорожных покрытий, а также способствует повышению их сроков службы и долговечности, тем самым уменьшая затраты на содержание и ремонт автомобильной дороги и улучшает экологическую обстановку. Кроме того, введение резиновой крошки в состав ЩМА повысит коэффициент сцепления автомобильных шин с покрытием дороги, и что немаловажно снизит уровень шума, позволит сократить расходы на устройство шумопоглощающих барьеров.

Однако для внедрения модификатора «КМА» Колтек в масштабное использование при устройстве верхних слоев покрытий необходимы исследования путем строительства опытных участков и мониторинга их состояния. Также дополнительно необходимо провести исследования на старение резино-битумного вяжущего и стойкости к колееобразованию ЩМА в соответствии с современными нормативными требованиями. При получении положительных результатов будет решен ряд вопросов по улучшению качества покрытий автомобильных дорог и утилизации изношенных шин транспортных средств.

Список библиографических ссылок

1. Нефедов Б. К. Новая технология производства качественных резинобитумных связующих для асфальтобетонных дорожных покрытий // Экология и промышленность России. 2008. № 5. С. 8–12.
2. Хафизов Э. Р., Вдовин Е. А., Ильина О. Н., Фомин А. Ю. Исследования физико-механических свойств многощелебнистых асфальтобетонов на основе полимерно-битумных вяжущих // Известия КГАСУ. 2016. № 1 (35). С. 211–215.
3. Руденский А. В., Смирнов Н. В. Для всех климатических зон. Композиционные резинобитумные материалы широкого применения // Дороги России XXI века. 2002. № 3. С. 86–88.
4. Беляев П. С., Маликов О. Г., Забавников М. В., Соколов А. Р. Повышение качества нефтяных битумов путем модификации продуктами переработки изношенных автомобильных шин // Вестник ТГТУ. 2003. № 1 (Т. 9). С. 63–69.
5. Духовный Г. С., Сачкова А. В. Эффективность применения резинобитумного вяжущего при устройстве асфальтобетонных покрытий // Научный ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2014. № 2 (34). С. 19–23.
6. Мардиросова И. В. Плотная вибролитая асфальтобетонная смесь для строительства и ремонта автомобильных дорог с использованием резиновой крошки // Известия Ростовского ГСУ. 2012. № 8. С. 231–24.
7. Волынцев П. А. Преимущества асфальтобетонных покрытий с резиновой крошкой // Молодой ученый. 2016. № 17 (121). С. 38–40.
8. Nuha Salim Mashaan, Asim Hassan Ali, Mohamed Rehan Karim, Mahrez Abdelaziz. A Review on Using Crumb Rubber in Reinforcement of Asphalt Pavemen // The Scientific World Journal. Malaysia. 2014. Article ID 214612. 21 p.
9. Norhidayah Abdul Hassan, Gordon D. Airey, Ramadhansyah Putra Jaya, Nordiana Mashros. A Review of Crumb Rubber Modification in Dry Mixed Rubberised Asphalt Mixtures // Jurnal Teknologi. 2014. P. 127–134.
10. Wang H., You Z., Mills-Beale J., Hao P. Laboratory evaluation on high temperature viscosity and low temperature stiffness of asphalt binder with high percent scrap tire rubber // Construction and Building Materials. 2012. № 26 (1). P. 583–590.

Khafizov E.R. – 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

Semenov D.Yu. – surveyor

E-mail: dima18.07.93@mail.ru

Production trading company «VSK-2000»

The organization address: 420005, Russia, Kazan, Juzhno-Promyshlennaja st., 9

Improvement of quality of road surfacing by introduction to macadam-mastic bituminous concrete mixture of rubber crumb additives

Problem statement. The purpose of work was the research of influence of additives of rubber crumb on properties of stone mastic asphalt.

Results. Comparative analysis of physicomechanical properties of the traditional stone mastic asphalt and stone mastic asphalt modified by rubber crumb from the utilized tires of «КМА» Koltek is carried out.

Conclusions. The conducted research has shown that introduction of rubber crumb to stone mastic asphalt allows to raise ultimate strength indicators on compression at 20 and 50 °C, ultimate strength on stretching at split at 0 °C, couplings at shift, fatigue resistance and water resistance, to lower water saturation indicator. It is revealed that the optimum content of additive of rubber crumb as a part of stone mastic asphalt makes 1 %. Improvement of quality and increase in life cycles of road surfacing of the highway can achieve due to introduction at preparation stage to structure of crushed-stone and mastic road concrete mix of the modifying additive – rubber crumb.

Keywords: highway, stone mastic asphalt, rubber crumb, durability, modifier.

References

1. Nefedov B. K. New production technique qualitative rubber-bituminous binding for asphalt concrete road surfacings // *Ekologija i promyshlennost' Rossii*. 2008. № 5. P. 8–12.
2. Khafizov E. R., Vdovin E. A., Ilina O. N., Fomin A. Y. Research of physicomechanical properties of crushed stone asphalt concrete with the use of polymeric and bituminous knitting // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 1 (35). P. 211–215.
3. Rudensky A. V., Smirnov N. V. For all climatic zones. Compositional rubber-bituminous materials of broad application // *Dorogi Rossii XXI veka*. 2002. № 3. P. 86–88.
4. Belyaev P. S., Malikov O. G., Zabavnikov M.V., Sokolov A. R. Improvement of quality of oil bitumens by modification by products of processing of worn-out car tires // *Vestnik TGTU*. 2003. № 1 (Vol. 9). P. 63–69.
5. Duhovnyj G. S., Sachkova A. V. Efficiency of application of rubber-bituminous knitting at the device of asphalt concrete coverings // *Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2014. № 2 (34). P. 19–23.
6. Mardirosova I. V. Dense vibrocast road concrete mix for construction and repair of motor-roads with use of rubber crumb // *Izvestija RGSU*. 2012. № 8. P. 231–24.
7. Volyntsev P. A. Advantages of asphalt concrete coverings with rubber crumb // *Molodoj uchenyj*. 2016. № 17 (121). P. 38–40.
8. Nuha Salim Mashaan, Asim Hassan Ali, Mohamed Rehan Karim, Mahrez Abdelaziz. A Review on Using Crumb Rubber in Reinforcement of Asphalt Pavemen // *The Scientific World Journal. Malaysia*. 2014. Article ID 214612. 21 p.
9. Norhidayah Abdul Hassan, Gordon D. Airey, Ramadhansyah Putra Jaya, Nordiana Mashros. A Review of Crumb Rubber Modification in Dry Mixed Rubberised Asphalt Mixtures // *Jurnal Teknologi*. 2014. P. 127–134.
10. Wang H., You Z., Mills-Beale J., Hao P. Laboratory evaluation on high temperature viscosity and low temperature stiffness of asphalt binder with high percent scrap tire rubber // *Construction and Building Materials*. 2012. № 26 (1). P. 583–590.



УДК 536.31

Барышева О.Б. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: obbars@mail.ru

Садьков Р.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Хабибуллин Ю.Х. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: a0an@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Математическая модель сажеобразования в пламени гомогенной углеводородовоздушной смеси

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить влияние коагуляции частиц сажи и начальной температуры воздуха на массовый выход сажи, найти зависимость среднего диаметра частиц сажи от времени пребывания, определить воздействие теплоотвода на зависимость массового выхода сажи от состава топливовоздушной смеси.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в разработке математической модели сажеобразования в пламени гомогенной углеводородовоздушной смеси. На основании этой модели авторами получена роль коагуляции частиц сажи в процессе сажеобразования, путем анализа расчета с учетом и без учета коагуляции.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что на основе численного моделирования прогнозируется и учитывается влияние процессов газификации частиц сажи по реакциям на изменение массового выхода сажи при сжигании топлива, например, при утилизации твердых бытовых и строительных отходов, поскольку игнорирование этих процессов приводит к существенным ошибкам, и как следствие, к загрязнению окружающей среды. Созданная расчетная модель позволяет изучить на основе численных экспериментов, влияния режимов параметров процесса горения на порог сажеобразования.

Ключевые слова: потери тепловой энергии, математическая модель сажеобразования, коагуляция, состав, температура.

Для математического описания процесса сажеобразования в пламени приведем математическую модель этого процесса. Процесс сажеобразования происходит с образованием углеводородных радикалов, которые называются радикалами-зародышами.

Уравнение для определения скорости образования радикалов-зародышей можно записать:

$$\frac{dn}{dt} = n_0 + (f - g)n - g_0 N_s n, \quad (1)$$

где n – штучная концентрация радикалов-зародышей, n_0 – скорость самопроизвольного их зарождения, f – коэффициент линейного разветвления, g – коэффициент линейного обрыва цепи, g_0 – коэффициент захвата радикалов-зародышей частицами сажи, N_s – число частиц сажи в единице объема.

Скорость образования частиц сажи определяется процессом взаимодействия радикалов-зародышей с исходными молекулами углеводорода и процессом их захвата частицами сажи, который тормозит образование новых частиц.

Поэтому брутто скорость образования частиц сажи можно выразить в виде:

$$\frac{dN_s}{dt} = (a - v N_s) n, \quad (2)$$

где a и v – некоторые коэффициенты. Решая совместно уравнения (1) и (2), можно получить зависимость $N_s = f(\tau)$, т.к. зависимость имеет максимум для некоторого периода времени, что взаимосвязь коэффициентов, a и v выражают в виде:

$$a = v N_{max}.$$

Величина $1/a$ имеет смысл периода индукции процесса сажеобразования. Пологая, что первичные радикалы-зародыши образуются в результате мономолекулярной реакции распада водородов, можно записать:

$$n_0 = 10^{13} N e^{-E/RT}, \quad (3)$$

где 10^{13} – частота колебания атомов в молекуле по разрываемой связи; N – число молекул углеводорода в единице объема (штучная концентрация), м^{-3} .

Система уравнений (1)-(3) содержит неизвестные коэффициенты $(f-g)$, g_0 , a , которые зависят от конкретных условий горения.

Модуль турбулентного горения построения на основе подхода, связанного с понятием скорости диссипации турбулентных вихрей. Скорость выгорания топлива в этой модели:

$$\frac{dC_T}{dt} = A \bar{C}_T \frac{E}{K}, \quad (4)$$

где A – константа, зависящая от структуры пламени и кинетики химической реакции описание топлива; \bar{C}_T – локальная осредненная по времени массовая концентрация топлива; E – скорость диссипации турбулентной кинетической энергии; k – турбулентная кинетическая энергия.

Для областей с очень богатым составом смеси, где концентрация кислорода низкая:

$$\frac{dC_T}{dt} = A \frac{\bar{C}_{O_2} E}{L_0 K}, \quad (5)$$

где \bar{C}_{O_2} – локальная осредненная по времени массовая концентрация кислорода.

Для турбулентных пламен гомогенных однородных смесей, когда скорость выгорания топлива связана со скоростью диссипации горячих вихрей продуктов сгорания:

$$\frac{dC_T}{dt} = A B \frac{\bar{C}_{np} E}{(1 + L_0) K}, \quad (6)$$

где B – константа; \bar{C}_{np} – локальная осредненная массовая концентрация продуктов сгорания.

В расчетной модели турбулентного горения одно из приведенных 3-х уравнений, которое дает наименьшую скорость реакции, является определяющей для локальной скорости выгорания топлива:

$$\begin{aligned} \frac{dC_v}{dt} &= n_0 + (f - g_0)n - g_0 N_s n, \\ n_0 &= a_0 C_T e^{-E/RT}, \\ \frac{dN_s}{dt} &= m_s (a - \nu N_s) n, \end{aligned} \quad (7)$$

где m_s – масса частицы сажи; a_0 – константа.

Скорость выгорания сажи для локальных областей со сравнительно низким и высоким соотношением концентрации сажи и кислорода по аналогии со скоростью выгорания топлив:

$$\frac{dC_v}{dt} = A \bar{C}_T \frac{E}{K}, \quad (8)$$

$$\frac{dC_v}{dt} = A \frac{C_{O_2} E \bar{C}_v L_0}{L_s K (\bar{C}_v L_s + C_T L_0)}, \quad (9)$$

где \bar{C}_v – локальная осредненная массовая концентрация сажи; L_s – стехиометрический коэффициент сажи.

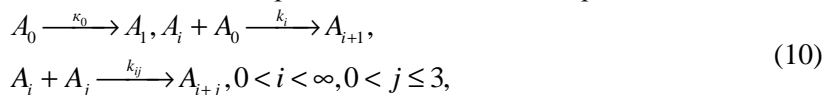
Уравнения (4)-(9) дополненные уравнениями движения и тепломассообмена в турбулентном потоке, образуют систему уравнений для расчета выхода сажи в турбулентном диффузионном факеле ацетилен. Результаты согласуются с экспериментом.

Система уравнений (1)-(2) описывает суммарную кинетику процесса сажеобразования и позволяет рассчитать выход сажи в процессе горения.

Однако при решении некоторых задач (расчет излучения, расчет термического периода углеводородов с целью получения специальных сортов сажи и др.) возникает как необходимость в установлении более детальных закономерностей развития процесса сажеобразования, в частности, учета изменения функции распределения частиц сажи по размерам.

В связи с чем, рассмотрим другой подход к моделированию процесса сажеобразования, когда анализируется с позиции химической кинетики каждый отдельный акт присоединения молекул углерода к радикалам-зародышам и частицам новой фазы. При этом источником молекул углерода могут являться как активные частицы, так и исходные и промежуточные углеводороды.

Детальная кинетическая модель сажеобразования как цепного процесса:



где A_0 – молекула исходного углеводорода; A_i – частица, содержащие $2i$ атомов углерода; k_i и k_j – константы скоростей реакции.

Эта модель учитывает мономолекулярный распад исходного углеводорода с образованием активных частиц, бимолекулярной реакции их взаимодействия с углеводородом и ростом частиц, а также гибель активных центров при столкновении с частицами сажи. Реакции записаны в общем виде, отражая лишь изменения состояния атомов углерода. В модели не используются в явной форме понятия радикал-зародыш, зародыш и принимается, что при $j=1, 2, 3, \dots, A_j$ – представляет собой активную частицу, из которой при $i \geq 8$ образуется растущая частица сажи с числом $2i$ атомов углерода. Первая стадия распада исходного углеводорода выражена по существу суммарной кинетикой. Кинетическая модель должна включать в себя возникновение сажеобразования некоторых промежуточных углеводородов, таких как C_2, H_2, CH_4 , и др.

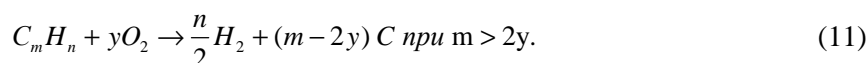
Приведенная модель (10) описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = -k_0 N_0 - \sum_{j=1}^{\infty} k_j \\ \frac{dN_1}{dt} = k_0 N_0 - k_1 N_1 N_0 - k_{11} N_1^2 - \sum_{j=1}^{\infty} k_{j1} N_1 N_j \\ \frac{dN_2}{dt} = k_1 N_0 N_1 - k_2 N_0 N_2 - k_{11} N_1^2 - k_{22} N_2^2 - \sum_{j=1}^{\infty} k_{2j} N_2 N_j \\ \frac{dN_3}{dt} = k_2 N_0 N_2 - k_3 N_0 N_3 - k_{12} N_1 N_2 - k_{33} N_3^2 - \sum_{j=1}^3 k_{ij} N_3 N_j \\ \frac{dN_i}{dt} = k_{i-1} N_0 N_{i-1} - k_i N_0 N_i + \sum_{j=1}^3 k_{i-j} N_{i-j} N_j - \sum_{j=1}^3 k_{ij} N_i N_j \end{cases}$$

где N_0 – массовая концентрация исходного углеводорода в единице объема продуктов сгорания, кг/м^3 . На практике число уравнений в бесконечной системе (10) ограничивают числом атомов углерода в частице.

Рассмотренные два подхода к математическому моделированию сажеобразования как целого радикального процесса должно не полностью описывать физико-химическую модель, описанную выше, в частности, они не учитывают неизотермичности процесса, коагуляции, поверхностные явления на частицах сажи. Побочные недостатки имеют и другие математические модели сажеобразования.

Гомогенная однородная смесь углеводородного топлива с воздухом представляет собой объект для экспериментальных и теоретических исследований при горении. Термодинамические расчеты равновесного состава продуктов сгорания свидетельствуют о возможности появления твердого углерода при соотношении атомов $C/O > 1$ при согласно уравнению:



Для смесей при горении в адиабатических условиях это справедливо для $d < 0,33$. предельное значения коэффициента избытка воздуха гомогенной смеси, выше которого в пламени не происходит сажеобразования α_s . Для термодинамического равновесия численной значения α_s практически не зависит от давления и начальной температуры смеси.

Массовая концентрация сажи как неравновесного промежуточного продукта химических реакций определяется двумя процессами: сажеобразованием и газификацией сажи двуокисью углерода и водным паром.

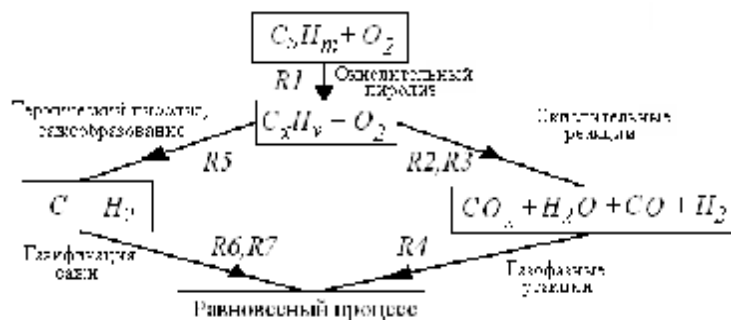
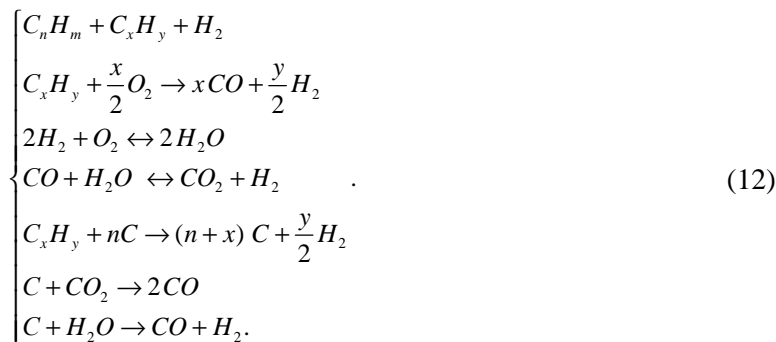


Рис. 1. Схема физико-химической модели горения богатой углеводородовоздушной смеси

На рис. 1 показана схема физико-химической модели горения богатой углеводородовоздушной смеси. Здесь $C_n H_m$ – исходное углеводородное топливо, $C_x H_y$ – гипотетическое промежуточный углеводород, посредством которого протекают окисленные реакции и термический пиролиз. Такие схемы применяются и при моделировании горения, так как детальные схемы окисления для большинства углеводородов неизвестны.

Принята брутто-кинетическая модель горения смеси со значительным избытком углеводородного топлива учитывающая окислительные реакции, образования и газификацию сажи:



Реакция пиролиза R_1 и газификации углерода R_6 и R_7 явления эндотермическим, окисления R_2 и R_1 образуют систему последовательных реакций, причем ведущей стадией процесса является окислительная, которая энергетически обеспечивает протекания остальных. Реакция R_5 описывает образование и рост конденсированной фазы из углеводородов, находящихся в газовой фазе. В ее основе лежит физико-химическая модель сажеобразования по ценному радикальному процессу, предложенная П.А. Тестером.

Одновременно с сажеобразованием протекают и реакции газификации R_6 и R_7 , однако лишь после уменьшения скорости реакции R_5 вследствие израсходования углеводородов реакции газификации начинают превалировать. При этом содержание сажи, CO_2 , H_2O и температура, и система приближается к термодинамическому равновесному состоянию.

Все реакции $R_1 \dots R_7$ является суммарными, и обобщают сложной многостадийный механизм реагирования. Для упрощения математического описания процесса сажеобразования принимают дополнительно следующие допущения:

- 1) течение газа, одновременное, адиабатическое;
- 2) окислительные реакции протекают в ламинарном фронте пламени;
- 3) сажеобразования начинается с момента полного расходования кислорода.

Задача разделяется на две:

- о структуре ламинарного фронта пламени;
- о сажеобразовании.

Первая задача заключается в построении математической модели ламинарного фронта пламени богатой углеводородной смеси. Структура ламинарного пламени описывается системой уравнений теплопроводности и диффузии. В обычных для теории горения допущениях о плоскости фронте пламени, пренебрегаем перекрестными эффектами молекулярного теплопереноса (термодиффузия, диффузионная теплопроводность и др.) система имеет вид:

$$\begin{aligned} C_p r \frac{\partial T}{\partial t} + B^* C_p \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} I C_p \frac{\partial T}{\partial x} &= \Phi, \\ \frac{\partial r g_i}{\partial t} + B^* \frac{\partial g_i}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} r D_i \frac{\partial g_i}{\partial x} &= \Phi_i, \end{aligned} \quad (13)$$

где $B^* = \rho_0 U_0$ – массовая скорость; Φ , Φ_i – источниковые члены. Предполагая, что число Льюиса:

$$L_e = \frac{C_p r D}{I} = 1, \quad (14)$$

а также допуская равенство коэффициентов диффузии для всех компонентов примет вид уравнения сохранения энтальпии:

$$d \sum_i h_i g_i = 0. \quad (15)$$

Уравнения сохранения массовой доли для химических элементов C , O , H и выражения закона действующих масс для реакции R_3 и R_4 , находящихся в равновесии, позволяют получить соотношения для концентрации реагирующих компонентов.

Учитывая, что искомыми элементами являются g компонентов и температура T , ламинарный фронт горения смеси углеводородного топлива и воздуха с кинетической схемы ($R_1 \dots R_7$) описывается системой из шести нелинейных алгебраических уравнений и краевой задачей для двух уравнений диффузии:

$$\Lambda(g_{cnHm}) = \rho v_1 w_1, \quad (16)$$

$$\Lambda(g_{coxH}) = \rho(v_1 w_1 - v_2 w_2), \quad (17)$$

где v_1 – стехиометрические коэффициенты; w_1 – скорость реакции R_1 ; w_2 – скорость реакции R_2 ; Λ – дифференциальный оператор, соответствующий уравнению диффузии:

$$\Lambda = \frac{\partial}{\partial t} r + r u \frac{\partial}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial}{\partial x}. \quad (18)$$

Граничные условия краевой задачи (16)-(17) определяются на основе предположения о том, что исходная топливовоздушная смесь поступает в реакционную зону через левое граничное сечение ($x=0$), а в продуктах реакции ($R_1 \dots R_7$), проходящее через правое граничное сечение ($l=0$), следовательно, граничное условие примет вид:

- $x=0$:

$$g_i - \frac{r D}{B^*} \frac{d g_i}{d x} = g_i, \quad (19)$$

- $x=l$:

$$\frac{d g_i}{d x} = 0. \quad (20)$$

Использование нестандартной формы уравнений (16)-(17) позволяет, задав начальным значением $g_i(0, x_i)$ и производя расчет системы уравнений (15)-(20) до такого значения времени сажеобразования являются результаты приближенного расчета структуры ламинарного фронта пламени, то есть состава и температуры продуктов сгорания за фронтом горения.

В индуктивном периоде сажеобразования происходит образования радикалов-зародышей:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = n_0 + F n + g_0 n^2, \quad (21)$$

$$n_0 = N \cdot 10^{13} \exp(-E_1 / RT). \quad (22)$$

где N – концентрация молекул углеводорода; E_1 – энергия активации самопроизвольного образования радикалов-зародышей:

$$g_0 = p D_{p-3}^2 \sqrt{\frac{8RT}{p M_1^*}},$$

где D_{p-3} – диаметр радикала-зародыша; M_I^* – приведенная молекулярная масса сталкивающихся радикалов-зародышей.

Увеличение размеров радикалов-зародышей за счет столкновения их с молекулами углеводородов:

$$\frac{dD_{p-3}}{dt} = 2 \frac{m_c x}{r_{p-3}} \left(\frac{r_a + \frac{D_{p-3}}{2}}{D_{p-3}} \right)^2 N \sqrt{\frac{8RT}{TM_2^*}} \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right) \quad (23)$$

где $m_c = 1,992684 \cdot 10^{-26}$ кг – масса атома углерода; x – количество атомов углерода в молекуле C_xH_y ; r_a – эффективный радиус молекулы углеводорода; E_2 – энергия активации процесса роста радикалов-зародышей; M_2^* – приведенная молекулярная масса сталкивающихся радикалов-зародышей и углеводородной молекулы.

Уменьшение концентрации углеводородов N в индукционном периоде:

$$\frac{dN}{dt} = -pnN \sqrt{\frac{RT}{2pM_{CH}}} \left(r_a + \frac{D_{p-3}}{2} \right)^2 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right), \quad (24)$$

где M_{CH} – приведенная молекулярная масса сталкивающихся углеводородных молекул.

По достижении первыми радикалами – зародышами критического диаметра D_{np} они превышаются в частицы сажи. В этот момент индукционный период заканчивается, и доли процессы, происходящие в термодинамической системе, моделируются системой дифференциальных уравнений. Это уравнение для скоростей изменения штучной концентрации N_0 углеводорода C_xH_y , концентрации частиц сажи N_s , массовой концентрации газовых компонентов g , массовой концентрации сажи g_s , температуры продуктов сгорания T и диаметра максимальной сферической частицы сажи D_s .

Скорость изменения штучной концентрации молекул углеводорода:

$$\frac{dN}{dt} = \left(\frac{\partial N}{\partial t} \right)_r - \frac{NdT}{Tdt}, \quad (25)$$

$$\left(\frac{\partial N}{\partial t} \right)_r = -pNN_s \exp\left(-\frac{E_3}{RT}\right) * 10^6 \sqrt{\frac{RT}{2pM_{CH}}} \left[\frac{D_{np} + D_s}{2} \right]^2 - \frac{\partial N_s}{\partial t} \frac{pD_{np}^3 r_s N_A}{6m_s x}, \quad (26)$$

где E_3 – энергия активации при столкновении молекул углеводорода с частицами сажи; N_A – число Авогадро; $(\partial N / \partial t)_r$ – скорость изменения штучной концентрации при изотермических условиях.

В правой части выражения (26) первый член описывает скорость расходования молекул углеводорода на топахимический рост частиц сажи, а второй – образование из радикалов-зародышей D_{p-3} новых частиц сажи (зародышей) с диаметром D_{np} .

Скорость изменения массовой концентрации углеводорода определяется:

$$\frac{dgC_xH_y}{dt} = \frac{10^6 RM_{CH} T}{pN_A M} \left(\frac{\partial N}{\partial t} \right)_r, \quad (27)$$

где M – средняя молекулярная масса продуктов сгорания.

Скорость образования радикалов – зародышей с размером, равным критическому диаметру $D_{кр}$, описывается выражением, аналогичным (21) для индукционного периода сажеобразования:

$$-\frac{\partial n'}{\partial t} = n_0 + (f - g)n - g_0(n')^2 - kN_s n, \quad (28)$$

где зависимость для n_0 и g_0 приведены выше, а k – коэффициент, учитывающий скорость гибели радикалов-зародышей при столкновении их с поверхностями частиц сажи.

Скорость изменения штучной концентрации частиц сажи:

$$\frac{dN_s}{dT} = \left(\frac{\partial N_s}{\partial t} \right)_r - \frac{N_s dT}{T dt}, \quad (29)$$

где

$$\left(\frac{\partial N_s}{\partial t} \right)_r = \frac{\partial n'}{\partial t} V - \frac{6}{5} K_{th} y^{1/6} N_s^{1/6}, \quad (30)$$

где V – коэффициент, учитывающий уменьшение скорости роста диаметра радикала-зародыша вследствие уменьшения концентрации углеводородов по отношению к скорости роста радикала-зародыша в индукционном периоде.

Вторичный член в выражении (30) определяет уменьшение количества частиц сажи вследствие коагуляции.

$$K_{th} = \frac{5}{12} \left(\frac{3}{4p} \right)^{1/16} \sqrt{\frac{6RT}{r_s}} G \alpha_f, \quad (31)$$

$$f = \frac{10^6}{48} p (D_{sp} + D_s)^3 N_s, \quad (32)$$

где $R=1,380662 \cdot 10^{-23}$ Дж/к – постоянная Больцмана, G – коэффициент, учитывающий дисперсионные силы, для сферических частиц G , α_f – параметр, учитывающий вид функции распределения частиц по размерам; для самосохраняющегося распределения $\alpha_f=6,55$.

Из закона сохранения энергии получим уравнения для температуры:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\sum \frac{dg_i h_i}{dt}}{\sum C_{p_i} g_i}, \quad (33)$$

где g_i , h_i , C_{p_i} – соответственно массовая доля, удельная энтальпии и удельная теплоемкость при постоянном давлении компонентов продуктов сгорания.

Выражение для массовой концентрации:

$$\begin{aligned} \frac{dgC_s}{dt} &= W_5 - W_6 - W_7, \\ W_5 &= \frac{M_c}{M_{cH}} \frac{dgC_s H_y}{dt}, \end{aligned} \quad (34)$$

где W_5 – скорость образования частиц сажи; W_6 – скорость газификации частиц сажи по реакции R_6 ; W_7 – скорость газификации частиц сажи по реакции R_7 . Уравнение для размера частиц сажи, основанное на допущении о сферической их форме:

$$\frac{dD_0}{dt} = \frac{16 \cdot 10^{-6} p M}{p r_s R N_s T (D_{sp} + D_s)^2} \frac{dgC_s}{dt} - \frac{D_{sp} + D_s}{3 N_s} \left(\frac{\partial N_s}{\partial t} \right)_T. \quad (35)$$

Второй член в правой части выражения (35) определяет скорость изменения диаметра частиц сажи в процессе их коагуляции.

Рассмотренные две задачи о ламинарном фронте пламени и сажеобразовании составляют в совокупность математическую модель сажеобразования в пламени богатой гомогенной углеводородовоздушной смеси. Предложенная кинетическая модель химических реакций $R_1 \dots R_7$ и система уравнений (13)-(35) приближенно описывают процесс сажеобразования при горении богатой смеси, и в частности, можно определить сверхравновесные концентрации промежуточных углеводородов, сажи, водяного пара, двуокиси углерода, а также температуру продуктов сгорания.

Важное преимущество использования расчетной модели заключается в возможности детального изучения свойств рассматриваемого процесса на основе результатов численного эксперимента.

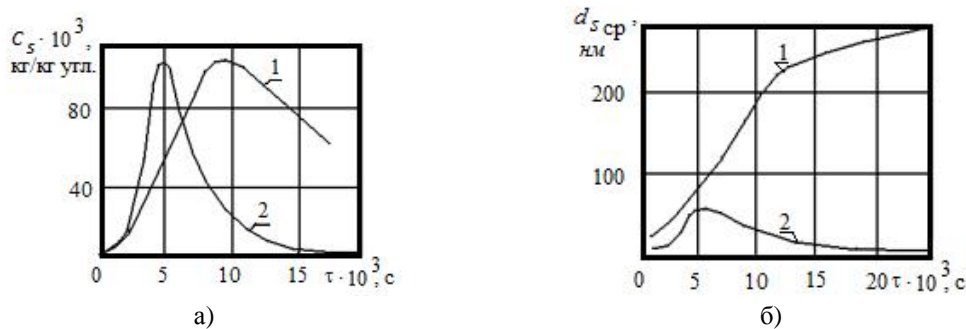


Рис. 2. Влияние коагуляции частиц сажи на массовый выход сажи (а) и зависимость среднего диаметра частиц сажи от времени пребывания (б):

$\alpha=0,4$; $\rho=2,5$ МПа; $T_0=573$ К, топливо – керосин ТС-1;

1 – с учетом коагуляции; 2 – без учета коагуляции

Для примера рассмотрим, роль коагуляции частиц сажи в процессе сажеобразования, путем анализа расчета с учетом (рис. 2а) и без учета коагуляции (рис. 2б). Действие коагуляции заключается в уменьшении реакционной поверхности сажевого аэрозоля вследствие слипания частиц сажи и снижения эффективной скорости поверхностных реакций роста R_5 и газификации R_6 , R_7 частиц сажи. Это ведет к снижению массовой скорости сажеобразования в пламени и существенному возрастанию времени полного выгорания образовавшихся частиц сажи. Последнее усиливается увеличением размеров частиц сажи (массы отдельной частицы; вследствие коагуляции (рис. 2б)).

Штучная концентрация частиц сажи незначительно зависит от давления и состава смеси. Число частиц сажи в давлении и состава смеси.

Число частиц сажи в продуктах сгорания определяется в основном физическими процессами коагуляции, т.е. свойствами самих частиц, а его различия в начальный период развития процесса сажеобразования быстро сглаживаются.

Аналогично на основе численного моделирования оценивается влияние процессов газификации частиц сажи по реакциям R_6 и R_7 на изменение массового выхода сажи при сжигании топлива, т.к. не учет этих процессов приводит к значительным ошибкам.

Расчетная модель позволяет изучить на основе численных экспериментов, где влияния режимов параметров процесса горения на порог сажеобразования.

Величиной α_s – предельным значением коэффициента избытка воздуха, выше которого сажеобразования в богатой гомогенной газовой смеси не регистрируется, оценивают склонность различных углеводородов к образованию сажи при сжигании.

Порог сажеобразования не является величиной постоянной даже для одного вида топлива.

На рис. 3-4, значения α_s возрастает с увеличением теплопотерь в пламени или с уменьшением начальной температуры гомогенной углеводородозудной смеси. Таким образом, α_s , принадлежащий порогу сажеобразования, нельзя использовать в качестве параметра, характеризующего склонность углеводородных топлив к сажеобразованию при горении.

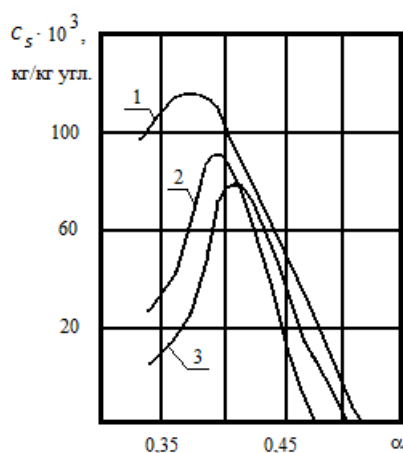


Рис. 3. Влияние теплоотвода на зависимость массового выхода сажи от состава топливовоздушной смеси по расчетным данным:
 $P=2,45$ МПа, $T=573$ К;
 1 – адиабатные условия, $dQ = 0\%$,
 2 – $dQ = 15\%$, 3 – $dQ = 24\%$

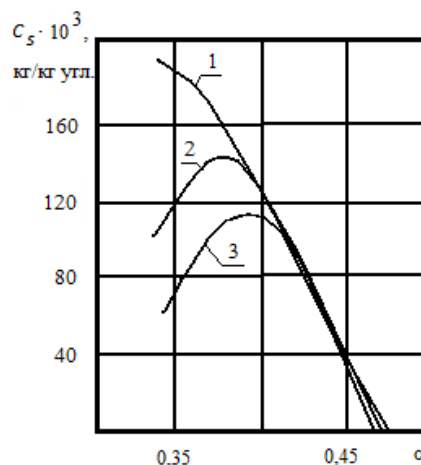


Рис. 4. Влияние начальной температуры воздуха на зависимость выхода сажи от состава топливовоздушной смеси по расчетным данным:
 $P=2,45$ МПа, $\tau=13 \cdot 10^{-3}$ с;
 1 – при $T = 573$ К, 2 – при $T=537$ К,
 3 – при $T = 523$ К

При значениях коэффициента избытка воздуха, незначительно превышающих α_s , отличается возникновением радикалов-зародышей, которые не достигали критического размера и не превращались в частицы сажи вследствие того, что скорость газификации при соответствующих температурах превышает скорость их роста.

Авторами доказано, что действие коагуляции заключается в уменьшении реакционной поверхности сажевого аэрозоля вследствие слипания частиц сажи и снижения эффективной скорости поверхностных реакций роста и газификации некоторых частиц сажи – это ведет к снижению массовой скорости сажеобразования в пламени и существенному возрастанию времени полного выгорания образовавшихся частиц сажи.

Предложенная кинетическая модель химических реакций и система уравнений приближенно описывают процесс сажеобразования при горении богатой смеси, позволяет определить сверхравновесные концентрации промежуточных углеводородов, сажи, водяного пара, двуокиси углерода, а также температуру продуктов сгорания, а также более детально изучить свойства рассматриваемого процесса на основе результатов численного эксперимента.

Список библиографических ссылок

1. Муравьев А. Г. Экспресс-анализ экологических проб. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2010. 424 с.
2. Mill R. S., Morrison A. M. Nature and Ecology. Boston : Prentice-Hall, 2009. 230 p.
3. Odum Yu. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2010. 338 p.
4. Odum Yu. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2008. 256 p.
5. Савельева В. А., Попова М. Н., Андропова М. М. Экологическая безопасность учреждений УИС в сфере обращения с отходами. М. : ВИПЭ ФСИН России, 2010. 250 с.
6. Подавалов Ю. А. Экология нефтегазового производства. М. : Инфра-Инженерия, 2010. 416 с.
7. Chapman J. L. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2009. 336 p.
8. Porter M. What is strategy? Harvard : Business Review, 2009. 108 p.
9. Бычкова В. А., Коробко В. И. Твердые бытовые отходы. Экономика. Экология. Предпринимательство. М. : Юнити-Дана, 2014. 132 с.
10. Почекаева Е. И. Экология и безопасность жизнедеятельности. М. : Феникс, 2010. 560 с.
11. Акинин Н. И. Техносферная безопасность. М. : ИД, 2016. 248 с.
12. Федоров Л. А. Химическое разоружение по-русски. М. : НЛЮ, 2011. 984 с.

Barysheva O.B. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: obbars@mail.ru

Sadykov R.A. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Khabibullin Iu.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: a0an@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Mathematical model of soot formation in the flame of a homogeneous hydrocarbon-air mixture

Abstract

Problem statement. The aim of the study was to determine the effect of coagulation of soot particles and the initial air temperature on the mass yield of soot, to determine the dependence of the average diameter of soot particles on residence time, and to determine the effect of the heat sink on the dependence of the mass yield of soot on the composition of the air-fuel mixture.

Results. The main results of the study consist in the development of a mathematical model for soot formation in the flame of a homogeneous hydrocarbon-air mixture. On the basis of this model, the authors have obtained the role of coagulation of soot particles in the soot formation process, by analyzing the calculation with and without coagulation.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry is that on the basis of numerical modeling, the effect of gasification processes of soot particles on the reactions to the change in mass yield of soot during fuel combustion is predicted and taken into account, for example, in the utilization of solid household and construction waste, since ignoring these processes leads to Significant errors, and as a result, pollution of the environment. The calculated model allows us to study, on the basis of numerical experiments, the effect of the combustion parameters on the soot formation threshold.

Keywords: loss of thermal energy, mathematical model of soot formation, coagulation, composition, temperature.

References

1. Muravev A. G. Rapid analysis of environmental samples. M. : Binom. Laboratory znaniy, 2010. 424 p.
2. Mill R. S., Morrison A. M. Nature and Ecology. Boston : Prentice-Hall, 2009. 230 p.
3. Odum Yu. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2008. 256 p.
4. Odum Yu. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2010. 338 p.
5. Saveleva V. A., Popova M. N., Andronova M. M. Environmental security penal institutions in the field of waste management. M. : VIPE FSIN of Russia, 2010. 250 p.
6. Podavalov Ju. A. Oil and gas production ecology. M. : Infra-Engineering, 2010. 416 p.
7. Chapman J. L. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2009. 336 p.
8. Porter M. What is strategy? Harvard : Business Review, 2009. 108 p.
9. Bychkova V. A., Korobko V. I. Municipal solid waste. Economy. Ecology. Entrepreneurship. M. : Unity-Dana, 2014. 132 p.
10. Pochekaeva E. I. Ecology and life safety. M. : Phoenix, 2010. 560 p.
11. Akinin N. I. Technosphere safety. M. : ID, 2016. 248 p.
12. Fedorov L. A. Chemical disarmament in Russian. M. : NLO, 2011. 984 p.



УДК 004.9

Лежнина Ю.А. – кандидат технических наук

E-mail: lejninou@mail.ru

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18

Хоменко Т.В. – доктор технических наук

E-mail: t_v_khomenko@mail.ru

Астраханский государственный технический университет

Адрес организации: 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 16

Разработка модуля «Информационное моделирование зданий» на основе компетентностного подхода

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – анализ влияния новых технологий информационного моделирования зданий на качество процесса коллективного проектирования и управления в строительстве.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в создании подхода к настройке образовательных программ в строительных вузах, основанного на анализе мнений работодателей, преподавателей и студентов. Показана необходимость расширения списка компетенций бакалавров строительства, в условиях внедрения новой технологии информационного моделирования зданий.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в полноте разработанного авторами списка компетенций и сформулированных предложениях по их применению в строительной отрасли.

Ключевые слова: технология информационного моделирования, BIM, компетентностный подход, энтропия системы, настройка учебного плана.

Введение

В современной строительной отрасли наиболее актуально применение компьютерных технологий на всех этапах жизненного цикла объекта строительства, особенно важно использование технологии информационного моделирования зданий в проектной деятельности на этапе формирования проектной и рабочей документации. Использование специализированного программного обеспечения в управлении строительством позволяет сэкономить время при разработке проекта, повысить качество строительных работ, обеспечить плановые расходы по проекту [1]. Востребованность рынка информационных технологий влечет быструю изменчивость. С выходом новой версии программного продукта происходит расширение возможностей по сравнению с прежними версиями. Пользователь сталкивается с проблемой обучения новой версии и использования текущего функционала прежней версии программного обеспечения. Высокая стоимость программных продуктов собственников строительных предприятий тщательно относится к его подбору. Вместе с тем, даже если внедрение нового программного продукта будет высоко затратным, строительная организация инвестирует в новые информационные технологии при очевидной выгоде в будущем инвестиций в развитие. Флагманом в сфере информационных технологий управления строительством является технология информационного моделирования [2]. Зародившись в конце 70-х годов, концепция единой информационной модели объекта строительства ждала технической возможности реализации. Сегодня имеется достаточно много систем проектирования, поддерживающих данную технологию. Можно говорить о широкомасштабной поддержке ее внедрения правительством России. Весной 2014 года Президиумом Совета Российской Федерации был принят план внедрения информационного моделирования в промышленном и гражданском строительстве России, в котором обозначена проблема подготовки специалистов строительной отрасли в связи с внедрением новой информационной технологии. Так, наряду с обучением действующих работников строительных организаций, органов государственной экспертизы, необходима подготовка новых кадров в строительных вузах. С первой задачей успешно справляются

специализированные учебные центры и частные компании-интеграторы, в тоже время, вторая задача стоит перед архитектурно-строительными вузами [3].

Процесс образования в России регламентируется Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (далее – ФГОС). Анализ ФГОС от поколения к поколению показывает, что вузам предоставляется все большая свобода в формировании основных образовательных программ на основе компетентного подхода и системы зачетных единиц. Развитие инновационного процесса в российском образовании ставит перед профессорско-преподавательским составом стратегические цели: вооружение студентов набором знаний, который позволит представить их в определенную систему так, чтобы изучаемые дисциплины приобрели единую направленность, образовывая «системное движение», предоставляя возможность для дальнейшего развития, совершенствования полученных знаний. Однако, появление новых технологий ставит новые задачи перед специалистами строительной отрасли. Для того, чтобы выпускник был конкурентоспособен на рынке труда ему необходимо уметь адаптироваться в быстроизменяющихся условиях, иметь широкие знания и глубокое понимание новых технологий в строительной отрасли. В такой ситуации перед архитектурно-строительным вузом стоит непростая задача настройки образовательных программ с учетом потребностей отрасли, мнения производителей. Таким образом, актуальна задача анализа компетенций выпускника и дисциплин учебного плана, их формирующих.

Адаптация учебных программ выпускников архитектурных и строительных высших учебных заведений

Одной из главных отличительных особенностей нового поколения ФГОС в России является компетентный подход к образовательному процессу и оценке его качества. В 2011 году были введены в действие образовательные стандарты третьего поколения ФГОС 3, в 2014 году были введены усовершенствованные ФГОС 3+. В настоящее время готовится проект ФГОС четвертого поколения. Мировая тенденция обучения состоит в предоставлении большей свободы университетам в разработке учебных программ. Качество учебных программ должно обеспечивать совместимость, сопоставимость и конкурентоспособность на европейском пространстве, удовлетворять потребностям студентов в условиях роста международной мобильности специалистов. Методология «Tuning» предоставляет основные инструменты для разработки, реализации и оценки образовательных программ, обслуживающих все три уровня образования.

Суть «Tuning» заключается в использовании инструментов Болонского процесса для согласованного описания структуры учебного плана и образовательных программ на всех уровнях на основе компетентного подхода в девяти различных предметных областях: информационно-коммуникационные технологии, экономика и менеджмент, психолого-педагогическое образование, инженерная экология, юриспруденция, туризм, экология, иностранные языки, социальная работа.

В рамках «Tuning» необходимо получить списки компетенций, сформулированных экспертами из российских и зарубежных ВУЗов на основе европейских компетенций проекта «Tuning» с учетом российских специфических особенностей [4, 5]. Если традиционная «квалификация» специалиста подразумевала функциональное соответствие между требованиями рабочего места и целями образования, а подготовка привела к усвоению учащимся более или менее стандартного набора знаний, умений и навыков. Наличие «компетенции» у человека предполагает его способность ориентироваться в различных сложных и непредсказуемых рабочих ситуациях, для того, чтобы иметь представление о последствиях деятельности, а также нести за них ответственность. Общим для всех определений является понимание ее как свойства личности, потенциальной способности индивида справляться с различными задачами, как совокупность знаний, умений и навыков, необходимых для осуществления конкретной профессиональной деятельности.

На основании опроса респондентов, экспертов из 3 ВУЗов и 5 проектных организаций, авторами был сформирован список компетенций бакалавра строительства, готового использовать технологию информационного моделирования в профессиональной деятельности:

1. Способность получать цифровую модель объекта строительства с

использованием универсальных и специализированных систем автоматизированного проектирования.

2. Способность разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию.

3. Способность решать управленческие задачи с использованием информационно-коммуникационных технологий (X_1).

4. Способностью принимать участие в реализации профессиональных коммуникаций в рамках проектных групп, организовывать работу малых коллективов исполнителей (X_2).

5. Способностью анализировать рынок программно-технических средств, информационных продуктов и услуг для создания и модификации информационных систем (X_3).

6. Способность адаптировать информационные технологии и зарубежный опыт для работы с отечественными стандартами (X_4).

Исследование совокупности компетенций на полноту

Для подготовки специалистов, владеющих технологией информационного моделирования (ТИМ-технология, BIM-технология), особенно интересной, представляется концепция CDIO (Conceive – Design – Implement – Operate), основанная на утверждении, что выпускники инженерных образовательных программ ВУЗов должны быть подготовлены к глубокому пониманию, проектированию, реализации и управлению комплексными инженерными проектами в условиях командной работы по созданию новых технических объектов и систем как готовых продуктов [6]. Методология подхода состоит в обучении инженерным навыкам в контексте жизненного цикла разработки продуктов и систем: Conceive – Design – Implement – Operate, что соответствует и концепции внедрения BIM-технологии. Технология информационного моделирования включают в себя циклы: Conceive – определение потребностей и технологий с учетом стратегии предприятия, правил разработки концепции объекта, архитектуры и инвестиционного проекта; Design – концептуальное проектирование, детальное проектирование, анализ и расчеты, подготовка документации; Build – подготовка, строительство, логистика; Operate объединяет эксплуатацию и реновацию (утилизацию) [7].

В [8, 9] (Э. Кроули и др.) показали, что компетенции оцениваются по-разному работодателями, преподавателями и студентами. Таким образом, необходимо решить проблему изменения взглядов преподаватели университетов, с целью создания «информационной среды», направленной на формирование способности к совместной работе, овладение методами информационного моделирования, выращивания лидеров, которые умеют строить команды и успешно завершать проекты. Анализ мнений преподавателей, производителей и студентов широко используется многими техническими университетами по всему миру для разработки учебных планов по стандартам CDIO, в частности, для строительных специальностей [9, 10].

Дополним полный список из 22 компетенций бакалавра строительства¹ четырьмя компетенциями из предложенного авторами списка. В результате анализа выявлено, что первая и вторая компетенции коррелируют с ПК-3 и ПК-14 ФГОС, поэтому в итоговый список компетенций авторами не включаются. Исследуем полноту нового полученного списка компетенций.

Оценка каждой дисциплины на соответствие компетенциям влияет на формирование основной образовательной программы ВУЗа, так как эксперт оценивает предложенные учебные дисциплины по всем компетенциям, исходя из важности этой дисциплины для формирования компетенции, включение этой дисциплины будет зависеть от каждой конкретной оценки выставленной экспертом.

Обозначим за Y готовый учебный план. Рассмотрим количественную меру влияния на него каждой компетенции. Предположим, что каждая из оцениваемых компетенций

¹ Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12.03.2015 № 201 и зарегистрированным в Министерстве юстиции Российской Федерации 07.04.2015 № 36767.

так или иначе влияет на отсутствие или включение, или исключение некоторой дисциплины в итоговом плане: информация после оценки каждой дисциплины поступает в готовый план и влияет на его содержание. Для подтверждения данного предположения используем аппарат теории информации.

Пусть в параметре Y содержится некоторое соотношение компонентов, который зависит от степени соответствия компетенции, так и от неучтенных факторов, действующих на готовый учебный план Y . Возможны три случая:

1. Влияние компетенции X_i на параметр Y отсутствует. Следовательно:

$$\begin{aligned} I(X_i \rightarrow Y/X_1 X_2 \dots X_{i-1}), \\ H(Y) = H(Y/X_1 X_2 \dots X_{i-1}), \end{aligned}$$

это случай соответствует полной неопределенности полученной информации о выходном параметре Y .

2. Информация о параметре Y полностью определяется критерием X_i :

$$\begin{aligned} H(Y) = H(Y/X_1 X_2 \dots X_{i-1}), \\ H(Y/X_1 X_2 \dots X_{i-1}). \end{aligned}$$

3. Информация о параметре Y определяется каждым из имеющихся критериев, при условии, что оценка влияния на готовый параметр Y будет осуществляться последовательно после оценки каждым критерием.

Пусть

$H(X_1), H(X_2), \dots, H(X_n)$ – количество информации каждой из компетенций;

$H(Y)$ – количество информации параметра Y ;

$I(X_n \rightarrow Y/X_1 X_2 \dots X_{n-1})$ – количество информации, переданной готовому учебному плану, после оценивания по n -ому критерию.

На основании положений теории информации получим систему уравнений для определения последовательного приращения информации, передаваемой параметру Y после оценки каждым критерием:

$$\begin{cases} I(X_1 \rightarrow Y) = H(X_1) + H(X_2) - H(X_1, X_2), \\ I(X_2 \rightarrow Y/X_1) = H(Y/X_1) - H(Y/X_1, X_2), \\ \mathbf{K} \\ I(X_n \rightarrow Y/X_1, X_2, \mathbf{K}, X_{n-1}) = H(Y/X_1, X_2, \mathbf{K}, X_{n-1}) - H(X_1, X_2, \mathbf{K}, X_{n-1}), \end{cases} \quad (1)$$

где $I(X_n \rightarrow Y/X_1 X_2 \dots X_{n-1})$ – количество информации об учебном плане после оценки n -ым критерием его характеризующим; $H(Y)$ – энтропия параметра Y ; $H(Y/X_1, X_2, \dots, X_{n-1})$ – количество информации, полученное в результате воздействия на параметр Y различных неучтенных параметров.

Учитывая, что:

$$H(Y/X_1, X_2, \mathbf{K}, X_n) = H(Y, X_1, X_2, \mathbf{K}, X_n) - H(X_1, X_2, \mathbf{K}, X_n),$$

система уравнений (1) приводится к виду:

$$\begin{cases} I(X_1 \rightarrow Y) = H(X_1) + H(Y) - H(X_1, Y), \\ I(X_2 \rightarrow Y/X_1) = H(X_1, X_2) - H(X_1, X_2, Y) - H(X_1) + H(X_1, Y), \\ \mathbf{K} \\ I(X_n \rightarrow Y/X_1, X_2, \mathbf{K}, X_{n-1}) = H(X_1, X_2, \mathbf{K}, X_n) - H(X_1, X_2, \mathbf{K}, X_n, Y) - \\ - H(X_1, X_2, \mathbf{K}, X_{n-1}) + H(X_1, X_2, \mathbf{K}, X_{n-1}, Y). \end{cases} \quad (2)$$

Степень влияния на параметр Y при информационном моделировании, можно оценить с помощью коэффициента информационной связи R :

$$\begin{cases} R_i(X_1 \rightarrow Y) = \frac{I(X_1 \rightarrow Y)}{H(Y)}, \\ R_i(X_2 \rightarrow Y) = \frac{I(X_2 \rightarrow Y/X_1)}{H(Y)}, \\ \mathbf{K} \\ R_i(X_n \rightarrow Y) = \frac{I(X_n \rightarrow Y/X_1, \mathbf{K}, X_{n-1})}{H(Y)}. \end{cases} \quad (3)$$

Значимость коэффициента информационной связи R_i определяется значимостью информации. Коэффициент информационной связи является мерой определенности

процесса и обладает следующими свойствами:

1. $R(X_n @ Y) = 1$, если информация о параметре Y полностью определяется компетенцией X_i .
2. $R(X_n @ Y) = 0$, если готовый итоговый план не зависит от X_i .
3. $0 < R(X_n @ Y) < 1$ в общем случае.

С помощью систем уравнений (2), (3) можно количественно оценить влияние каждой компетенции на формирование итогового учебного плана. Используя результаты анкетирования, последовательно вычисляется количество информации (энтропия) для каждой компетенции. Рассмотрим полученный результат только для выбранных специальных компетенций, отсутствующих в формулировке ФГОС. Подсчитав значения энтропий $H(X_1, X_2, \dots, X_n)$, $H(X_1, X_2, \dots, X_n | Y)$, $H(X_1, X_2, \dots, X_{n-1})$, $H(X_1, X_2, \dots, X_{n-1} | Y)$, подставим их в систему уравнений (2) и последовательно вычислим $I(X_n @ Y)$. Используя полученные значения $I(X_n @ Y)$ и систему уравнений (3) определим коэффициенты информационной связи $R(X_n @ Y)$. Имеем $\hat{H}(Y) = 1,99$. Остальные данные сведем в таблицу.

Таблица

Фрагмент результатов расчёта энтропии компетенции

| Энтропия каждой компетенции | Количество информации на n -ом шаге | Коэффициенты информационной связи |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| $\hat{H}(X_1) = 0,88$ | $I(X_1 \rightarrow Y) = 0,09$ | $R(X_1 @ Y) = 0,05$ |
| $\hat{H}(X_2) = 1,04$ | $I(X_2 \rightarrow Y) = 0,10$ | $R(X_2 @ Y) = 0,05$ |
| $\hat{H}(X_3) = 1,86$ | $I(X_3 \rightarrow Y) = 0,12$ | $R(X_3 @ Y) = 0,06$ |
| $\hat{H}(X_4) = 1,78$ | $I(X_4 \rightarrow Y) = 0,09$ | $R(X_4 @ Y) = 0,05$ |

Значимость коэффициента информационной связи R_i определяется значимостью информации. Коэффициент $R(X \rightarrow Y)$ – мера определенности процесса.

Численная оценка влияния X_i критерия на готовый контент позволила сделать вывод: X_1 передает 5 % информации параметру Y ; X_2 передает 5 % информации параметру Y ; X_3 передает 6 % информации параметру Y ; X_4 передает 5 % информации параметру Y . Просуммировав и обобщив все полученные значения имеем, что в совокупности 99,9 % информации в учебный план вкладывают все компетенции, из них 21 % составляет вклад предложенных четырех новых компетенций. На оставшиеся 0,1 % информации оказывают влияние неучтенные параметры, переданную неучтенными параметрами информацию принимаем незначимой.

Проведенный анализ показывает, что выявленную совокупность из набора компетенций бакалавра строительства, дополненную 4 специальными компетенциями можно принимать полной. Однако перечень дисциплин учебного плана не предполагает масштабной подготовки бакалавра строительства, владеющего такими компетенциями как X_3 и X_4 . Представляется целесообразной разработка курса, который позволит бакалаврам строительства наряду со знанием методов технологии информационного моделирования, получить начальные навыки программирования в специальных средах, проводить настройку систем автоматизированного проектирования, создавать цифровое пространство и уметь оперировать в нем, вместе с малыми группами разработчиков программного обеспечения.

Технологии информационного моделирования как коллективное управление информацией

Целью использования инструментов технологии информационного моделирования на занятиях бакалавров архитектурных и строительных специальностей является развитие творческого подхода к решению задач коллективного проектирования и формирования комплексного понимания профессиональной деятельности. Трудоемкость курса – 3 кредита ECTS (Европейской системы перевода и накопления кредитов – англ. European Credit Transfer System), объем курса составляет 108 часов.

Новый курс «Информационное моделирование зданий» сначала дает студентам практическое знакомство с инструментами Revit Architecture. Вторая часть курса

посвящена организации совместной работы нескольких специалистов смежных специальностей над одним проектом. Учебный процесс основан на организации проектной деятельности малых групп (2-4 студентов) с целью создания информационной модели строительного объекта с помощью технологии информационного моделирования.

Для формирования одной из ключевых компетенций курса «способность к коллективной работе» учебный процесс должен быть построен на тесном сотрудничестве между студенческими группами. Для этого формируются команды из студентов групп различных специальностей, например, архитектура – архитектура (рис. 1), архитектура – дизайн (рис. 2), архитектура – теплогасоснабжение и вентиляция (рис. 3). В режиме коллективной работы студентами разрабатываются учебные проекты. Студенты могут обмениваться информацией о проекте и работать над общими информационными моделями зданий, вне зависимости от их местонахождения.



Рис. 1. Результат коллективной работы студентов в связке архитектура – архитектура

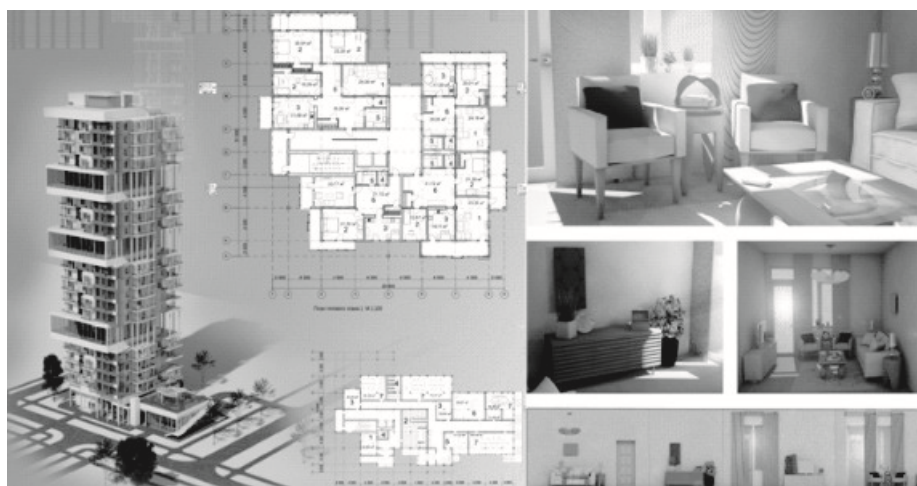


Рис. 2. Результат коллективной работы студентов в связке архитектура – дизайн

В настоящее время в рамках концепции CDIO разработано 12 стандартов, которые можно сгруппировать в шесть основных групп: концепция инженерных программ (1 стандарт); требования к формированию учебного плана (2, 3, 4 стандарты); требования к образовательной среде (5, 6 стандарты); методы обучения (7, 8 стандарты); квалификация преподавателей (9, 10 стандарты); методы оценки результатов обучения (11, 12 стандарты). Стандарты могут выступать руководством оценки качества основных профессиональных образовательных программ, а также для создания условий для их реализации и непрерывного улучшения [7]. Разработка и внедрение модуля «Информационное моделирование зданий» в учебный процесс в полной мере

соответствует положениям 5 и 6 стандартов, касающихся организации рабочего пространства и материально-технического обеспечения инженерной деятельности, реализованы в виде информационного пространства на локальном сервере вуза. Таким образом, в процессе обучения может быть реализован подход CDIO обучения ТИМ-технологии в архитектурно-строительном вузе.

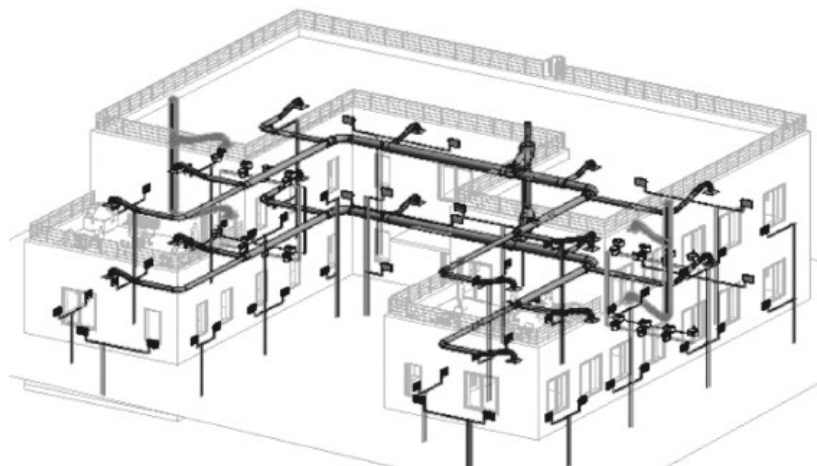


Рис. 3. Результат коллективной работы студентов в связке архитектура – теплогазоснабжение и вентиляция

Заключение

Решение проблемы повышения качества процесса коллективного проектирования и управления в строительстве возможно на основе формирования новых компетенций у бакалавра в строительном вузе, владеющего технологией информационного моделирования в деталях и готового к инновационным изменениям в управлении строительным производством. Подход к настройке образовательных программ в строительных вузах возможен за счет расширения перечня формируемых компетенций с учетом мнения работодателей, преподавателей и студентов, введения дополнительных значимых компетенций в рабочие программы вузов по направлению «Строительство», которые связаны с созданием и модификацией информационных систем в строительной отрасли России. Выводы получены на основании научного эмпирического исследования количества информации, переданной компетенциями и коэффициента информационной связи, выявленных на основе экспертного анализа (опроса) специалистов-практиков.

Полученные авторами результаты могут быть рекомендованы к применению в строительных вузах и в строительной отрасли России.

Список библиографических ссылок

1. Bakhareva O. V., Romanova A. I., Talipova L. F., Fedorova S. F., Shindina T. A. On the building information modeling of capital construction projects market development // *Journal of Internet Banking and Commerce*. 2016. Vol. 21. № S3.
2. Бахарева О. В. Инновационно-технологическое управление ростом: технология информационного моделирования в регионе // *Российское предпринимательство*. 2017. Т. 18. № 2. Р. 121–132.
3. Лежнина Ю. А., Хоменко Т. В. Проблемы внедрения новой информационной технологии Building Information Modeling в строительном вузе // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2015. № 2 (12). С. 78–82.
4. Lunev A., Petrova I., Zaripova V. Competence-based model of learning for engineers and the future of university education : dig. of art. Proceedings of the 8th International CDIO Conference / Queensland University of Technology. Brisbane, July 1-4. 2012. URL: <http://www.cdio.org/files/document/file/competencebasedengineersfutureuniversityeduca>

- tion.pdf, 892 p. (дата обращения: 01.04.2017).
5. Zaripova V., Petrova I. Engineering creativity education in Russian Universities : dig. of art. Proceedings of the SEFI Annual Conference 2014 / University of Birmingham (UK), 15-19 September 2014. URL: <http://www.sefi.be/conference-2014/0084.pdf>. (дата обращения: 01.04.2017).
 6. Crawley E. F., Malmqvist J., Lucas W. A., Brodeur, D. R. The CDIO Syllabus v 2.0. An Updated Statement of Goals for Engineering Education : dig. of art. Proc. of the 7th International CDIO Conference / Technical University of Denmark. Copenhagen, June 20-23. 2011. 1136 p.
 7. Ануфриев Д. П., Петрова И. Ю., Шикунская О. М. Внедрение инструментов ВМ в образовательный процесс строительного вуза // Перспективы развития строительного комплекса. 2015. № S1. С. 54–62.
 8. Crawley E. F., Malmqvist J., Östlund S., and Brodeur D. R. Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. New York: Springer, 2007. P. 67– 68.
 9. Malmqvist J., Hugo R., Kjellberg M. A survey of CDIO implementation globally – effects on educational quality : dig. of art. Proceedings of the 11th International CDIO Conference / Chengdu University of Information Technology. Chengdu. Sichuan. P.R. China, June 8-11. 2015.
 10. Xiong G. & Lu X. A CDIO curriculum development in a civil engineering programme // World Transactions on Engineering and Technology Education. 2007. Vol. 6. №. 2.

Lezhnina Yu.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: lejninou@mail.ru

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

The organization address: 414056, Russia, Astrakhan, Tatischeva st., 18

Khomenko T.V. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: t_v_khomenko@mail.ru

Astrakhan State Technical University

The organization address: 414056, Russia, Astrakhan, Tatischeva st., 16

Development of module «Building Information Modeling» on the basis of competence approach

Abstract

Problem statement. The purpose of research – analysis of the impact of new technology for building information modeling on the quality of the process of collective design and management in construction.

Results. The main results of the research are to create an approach to setting up educational programs in construction universities, based on the analysis of the opinions of employers, teachers and students. The necessity of expanding the list of competences of the bachelors of construction is shown, in the conditions of introduction of the new technology of information modeling of buildings

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is the completeness of the list of competences developed by the authors and the formulated proposals for their application in the construction industry.

Keywords: building information modeling, BIM, competency-based approach, the entropy of the system, setting the curriculum.

References

1. Bakhareva O. V., Romanova A. I., Talipova L. F., Fedorova S. F., Shindina T. A. On the building information modeling of capital construction projects market development // Journal of Internet Banking and Commerce. 2016. Vol. 21. № S3.
2. Bakhareva O. V. Innovation and technology growth management: technology of

- information modeling in the region // Rossiiskoe predprinimatelstvo. 2017. T. 18. № 2. P. 121–132.
3. Lezhnina Yu. A., Khomenko T. V. Problems of implementation of a new information technology Building Information Modeling in construction university // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya. 2015. № 2 (12). P. 78–82.
 4. Lunev A., Petrova I., Zaripova V. Competence-based model of learning for engineers and the future of university education : dig. of art. Proceedings of the 8th International CDIO Conference / Queensland University of Technology. Brisbane, July 1-4. 2012. URL: <http://www.cdio.org/files/document/file/competencebasedengineersfutureuniversityeducation.pdf>, 892 p. (reference date: 01.04.2017).
 5. Zaripova V., Petrova I. Engineering creativity education in Russian Universities : dig. of art. Proceedings of the SEFI Annual Conference 2014 / University of Birmingham (UK), 15-19 September 2014. URL: <http://www.sefi.be/conference-2014/0084.pdf>. (reference date: 01.04.2017).
 6. Crawley E. F., Malmqvist J., Lucas W. A., Brodeur, D. R. The CDIO Syllabus v 2.0. An Updated Statement of Goals for Engineering Education : dig. of art. Proc. of the 7th International CDIO Conference / Technical University of Denmark. Copenhagen, June 20-23. 2011. 1136 p.
 7. Anufriev D. P., Petrova I. Yu., Shikulskaya O. M. Implementation of BIM tools in the educational process of a construction university // Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa. 2015. № S1. P. 54–62.
 8. Crawley E. F., Malmqvist J., Östlund S., and Brodeur D. R. Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. New York : Springer, 2007. P. 67–68.
 9. Malmqvist J., Hugo R., Kjellberg M. A survey of CDIO implementation globally – effects on educational quality : dig. of art. Proceedings of the 11th International CDIO Conference / Chengdu University of Information Technology. Chengdu. Sichuan. P.R. China, June 8-11. 2015.
 10. Xiong G. & Lu X. A CDIO curriculum development in a civil engineering programme // World Transactions on Engineering and Technology Education. 2007. Vol. 6. № 2.

**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, включая таблицы и иллюстрации. Иллюстративный материал не должен перегружать статью (не более 4 рис.). Таблицы и иллюстрации скомпоновать с учетом вышеуказанных полей.

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 И.И. – 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 I.I. – 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 нанокompозитов 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. Гушин 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. Theses 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 может 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: 0000000000000000130 реализация изд. деэт-ти.

Известия КГАСУ
2017 г., № 2 (40)

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, 1
Тел. для справок: (843) 510-46-39

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»

Подп. к печати 07.06.2017

Заказ 190

Усл.-печ. л. 41,87

Формат 60×84/8

Бумага тип. № 1

Уч.-изд. л. 42,37

Тираж 500 экз.

I завод-100

Отпечатано в Издательстве КГАСУ, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1