*ISSN 2073-1523*

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

# Известия КГАСУ

**2019 г., № 3** (49)

ББК 38
И 33
УДК 69

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

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

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

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

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

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

*© Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2019*

*ISSN 2073-1523*

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

KAZAN STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING

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

MINISTRY OF TRANSPORT AND ROADS
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

# News of the KSUAE
## 2019, № 3 (49)

BBC 38
I 33
UDC 69

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

### EDITORIAL BOARD:

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

### INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ


| | |
|---|---|
| **ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ** | |
| **Баширова Э.И., Низамов Р.К.** Применение сценарного подхода при разработке функционального зонирования в ходе архитектурной реконструкции и реставрации Казанского Театра юного зрителя | 7 |
| **Лотфуллина А.Р., Краснобаев И.В.** К вопросу о взаимовлиянии архитектурного проектирования и сценографического искусства | 18 |
| **Низамов Р.К., Попов А.О.** Градостроительное развитие территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург в период с 1734 по 1812 гг. | 27 |
| **Низамов Р.К., Попов А.О., Матвеев И.Ю.** Дом «Михляева-Дряблова». О Петре I, Казани и здании | 34 |
| | |
| **АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ** | |
| **Агишева И.Н., Покка Е.В., Горбунов А.П.** Эволюция архитектуры транспортно-пешеходных мостов | 42 |
| **Ермакова Е.В., Рынковская М.И.** Формирование пластики оболочек в концертном зале | 53 |
| **Минабутдинова А.Р., Агишева И.Н.** Принципы формирования трансформируемого жилого пространства | 62 |
| **Рихерт А.Э., Агишева И.Н.** Идентичность в архитектуре и градостроительстве как ключевой фактор развития исторического города | 71 |
| | |
| **ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ** | |
| **Исмагилова С.Х., Залетова Е.А., Корягина А.Е.** Приемы архитектурно-градостроительной реконструкции центра малого города на примере г. Чистополь | 80 |
| | |
| **СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ** | |
| **Замалиев Ф.С.** К расчету анкерных связей сталежелезобетонных конструкций | 87 |
| **Иванцов А.И., Куприянов В.Н., Ибрагимова Г.И.** Использование отраженной солнечной радиации как источника инсоляции при проектировании здания общежития | 95 |
| **Кабанова Т.В., Енюшин В.Н., Ануфриев С.Э.** Тепловизионная съемка как способ оперативного контроля теплозащитных свойств ограждающих конструкций | 104 |
| **Мирсаяпов Ильшат Т., Ахметзянов Д.Р.** Применение шага колонн 18 м в железобетонных каркасах и оценка эффективности применения высокопрочного бетона в каркасах одноэтажных промышленных зданий с различной сеткой колонн | 112 |
| | |
| **ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ** | |
| **Мирсаяпов Илизар Т., Сабирзянов Д.Д.** Экспериментальные исследования глинистых грунтов в объемных лотках при режмном статико-циклическом нагружении | 121 |
| | |
| **ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ** | |
| **Варсегова Е.В., Кареева Ю.Р., Золотоносов Я.Д.** Исследование процесса теплообмена в трубах сложной геометрии аппаратов типа «труба в трубе» | 132 |
| **Петров А.С., Забирова А.И.** К вопросу обеспеченности уровня теплового комфорта в жилых квартирах с учетом индексов PMV и PPD | 139 |
| **Таймаров М.А., Лавирко Ю.В.** Использование мазутного нефтешлама и древесных лесопильных отходов в малой энергетике | 147 |
| | |
| **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ** | |
| **Мухаметшина Р.М., Морозов В.И.** Исследование комплексов меди(II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой методом электронного парамагнитного резонанса | 154 |
| **Перцев В.Т., Перова Н.С., Леденев А.А., Загоруйко Т.В.** Влияние наноструктурирующих компонентов на характеристики цементного камня и свойства высокопрочных и термостойких бетонов | 163 |
| **Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А.Р., Бикмухаметов А.Р., Морозов В.П.** Влияние состава и температуры прокаливания добавок каолиновой и полиминеральной глины в портландцемент на свойства цементного камня | 172 |
| **Строганов В.Ф., Сагадеев Е.В., Потапова Л.И., Мухаметзянов М.А.** Получение и исследование свойств серных бетонов на основе техногенных отходов нефтехимического и теплоэнергетического комплексов | 181 |
| **Халиуллин М.И., Файзрахманов И.И.** Влияние пластифицирующей добавки на состав композиционного гипсового вяжущего с применением термоактивированной глины | 190 |
| | |
| **ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА** | |
| **Салахова А.Р., Евстигнеева Ю.В., Ибрагимов Р.А.** Технология возведения колонн с применением несъемной опалубки | 197 |

| | |
|---|---|
| **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ** | |
| **Лупанов А.П., Силкин В.В., Козиков И.О., Ильина О.Н.** Исследование свойств асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли для строительства и ремонта автомобильных дорог и городских улиц | 205 |
| **Нурмухаметов К.А., Зиннуров Т.А., Садыков Д.М.** Алгоритм принятий решений в системе управления региональными мостами | 212 |
| | |
| **СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА** | |
| **Гришин И.В., Пискунов А.А.** Моделирование процесса деформирования асфальтобетонных покрытий мостов при температурном воздействии | 221 |
| **Хамитов Т.К., Хайруллин Б.Т., Аюпов И.И.** Расчет несущей способности дымовой трубы при демонтаже | 229 |
| | |
| Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета» | 236 |

# CONTENTS


| | |
|---|---|
| **ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY, HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION** | |
| **Bashirova E.I., Nizamov R.K.** Application of scenario approach in the development of functional zoning during the architectural reconstruction and restoration for the Kazan Theatre of Young Spectator | 7 |
| **Lotfullina A.R., Krasnobaev I.V.** On the question of the mutual influence of architectural design and stage design | 18 |
| **Nizamov R.K., Popov A.O.** Town-planning development of the territory of the Main Admiralty building complex in Saint Petersburg of the period from 1734 to 1812 | 27 |
| **Nizamov R.K., Popov A.O., Matveev I.Y.** House «Of Mikhlyaev-Dryablov». About Peter I, Kazan and building | 34 |
| | |
| **HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES** | |
| **Agisheva I.N., Pokka E.V., Gorbunov A.P.** Evolution of transport and pedestrian bridge architecture | 42 |
| **Ermakova E.V., Rynkovskaya M.I.** Formation of shell's plasticity in the concert hall | 53 |
| **Minabutdinova A.R., Agisheva I.N.** Principles of forming a transformable living space | 62 |
| **Rikhert A.E., Agisheva I.N.** Identity in architecture and town planning as a key factor in the development of a historic city | 71 |
| | |
| **URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING** | |
| **Ismagilova S.Kh., Zalyotova E.A., Koryagina A.E.** Methods of architectural and urban reconstruction of the center of the small city on the example of Chistopol | 80 |
| | |
| **BUILDING STRUCTURES, HOUSES** | |
| **Zamaliev F.S.** To the calculation of the anchor connections of steel-concrete structures | 87 |
| **Ivantsov A.I., Kupriyanov V.N., Ibragimova G.I.** The use of reflected solar radiation as an insolation source in the design of a dormitory building | 95 |
| **Kabanova T.V., Enyushin V.N., Anufriev S.E.** Thermal imaging as a method of operational control of heat-shielding properties of enclosing structures | 104 |
| **Mirsayapov Ilshat T., Akhmetzyanov D.R.** The use of column spacing of 18 m in reinforced concrete frames and evaluation of the effectiveness of high-strength concrete in frames of one-storey industrial buildings with different grid columns | 112 |
| | |
| **FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES** | |
| **Mirsayapov Ilizar T., Sabirzyanov D.D.** Experimental researches of clay soils in large trays of the regime static-cyclic loading | 121 |
| | |
| **HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING** | |
| **Varsegova E.V., Kareeva Y.R., Zolotonosov Y.D.** Research of heat exchange process in pipes with difficult geometry of «pipe in pipe» apparatus type | 132 |
| **Petrov A.S., Zabirova A.I.** On the issue of the level of thermal comfort in residential apartments, taking into account the PMV and PPD indices | 139 |
| **Taimarov M.A., Lavirko Y.V.** Use of fuel oil sludge and wood sawmill waste in small-scale energy | 147 |
| | |
| **BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS** | |
| **Mukhametshina R.M., Morozov V.I.** Study of copper(II) complexes with hydroxyethylidene diphosphonic acid by electron paramagnetic resonance method | 154 |
| **Pertsev V.T., Perova N.S., Ledenev A.A., Zagorujko T.V.** Influence of nanostructuring components on characteristics of a cement stone and property of high-strength and heat-resistant concrete | 163 |
| **Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gaifullin A.R., Bikmukhametov A.R., Morozov V.P.** Influence of the composition and temperature of roasting on the additives of kaolin and polymineral clays in portland cement on the properties of cement stone | 172 |
| **Stroganov V.F., Sagadeev E.V., Potapova L.I., Muhametz'anov M.A.** Obtaining and researching the properties of sulfur concrete based on technogenic wastes of the petrochemical and heat power complexes | 181 |
| **Khaliullin M.I., Faizrakhmanov I.I.** The effect of ground limestone on the properties of a composite gypsum binder using thermally activated clay as a pozzolan component | 190 |
| | |
| **CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND ORGANIZATION** | |
| **Salakhova A.R., Evstigneeva J.V., Ibragimov R.A.** Constructing technology using fixed formwork | 197 |
| | |
| **ROADS, SUBWAYS, AIRPORTS, BRIDGES AND TUNNELS DESIGN AND CONSTRUCTION** | |
| **Lupanov A.P., Silkin V.V., Kozikov I.O., Ilina O.N.** Research of the properties of asphalt mixers using soft roofing wastes for the construction and repair of automobile roads and city streets | 205 |
| **Nurmuhametov K.A., Zinnurov T.A., Sadykov D.M.** Decision making algorithm in the regional bridges management system | 212 |

| CONSTRUCTION MECHANICS | |
|---|---|
| **Grishin I.V., Piskunov A.A.** Modeling the process of deformation of asphalt concrete pavement of bridges under temperature exposure | 221 |
| **Khamitov T.K., Khairullin B.T., Ayupov I.I.** Calculation of the carrying capacity of the chimney during dismantling | 229 |
| | |
| Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news» | 236 |

УДК 725.8.01
**Баширова Эльза Ильдаровна**
старший преподаватель
E-mail: bashirova.arch@gmail.com
**Низамов Рашит Курбангалиевич**
доктор технических наук, профессор
E-mail: nizamov@kgasu.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

# Применение сценарного подхода при разработке функционального зонирования в ходе архитектурной реконструкции и реставрации Казанского Театра юного зрителя

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Современные культурные практики предъявляют высокие требования к объемно-пространственной организации здания, что требует существенного пересмотра функциональной структуры существующих объектов.

*Результаты.* На основе современного отечественного и зарубежного опыта применения сценарного подхода были сформулированы основные принципы, и осуществлена разработка схемы функционального зонирования комплекса зданий Казанского Театра юного зрителя. Функциональные процессы были распределены по имеющимся и вновь возводимым пространствам таким образом, чтобы добиться согласованности функционирования всех процессов, отсутствия простаивания площадей и сохранения целостного восприятия комплекса, как памятника архитектуры.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектуры заключается в выявлении потенциала сценарного подхода в проектировании при архитектурной реконструкции объектов культуры, через разработку функционального зонирования как развивающейся системы использования пространств в соответствии с особенностями проходящих там процессов.

**Ключевые слова:** сценарный подход, архитектурная реконструкция объектов культуры, Казанский Театр юного зрителя.

## Введение

Согласно принятой в 2016 году Стратегии социально-экономического развития г. Казани до 2030 года одним из приоритетных направлений развития для города является преумножение человеческого капитала не только за счет повышения качества здравоохранения и образования, но и за счет создания благоприятной, дружелюбной, интересной городской среды. Казань должна стать городом, «куда хочется приехать и где интересно жить каждый день» [1]. Для реализации данной программы необходимо предоставить населению широкий выбор культурных практик, в связи с чем актуальность приобретают создание новых, и реконструкция, а также приспособление старых объектов культурной инфраструктуры: музеев, театров, домов культуры и т.п. В случае реконструкции и приспособления мы сталкиваемся с проблемой соотношения объемно-планировочных решений существующих зданий с функциональными требованиями к современным объектам культуры с учетом требований к комфорту, безопасности, инклюзивности, а также возможности применения современных цифровых технологий [2]. Дополнительные вопросы, связанные с соблюдением охранного законодательства и применением соответствующих технологий реставрации, возникают в том случае, когда реконструкции и приспособлению подвергается объект культурного наследия [3]. В данной публикации авторами будут рассмотрены предпосылки возникновения, особенности и развитие сценарного подхода в архитектурном проектировании, а также основные этапы применения данного подхода на примере архитектурной реконструкции комплекса зданий Казанского Театра юного зрителя.

**Реконструкция учреждений культуры в г. Казани**

Создание благоприятной среды для жизни является приоритетным для Казани уже много лет. Наряду с улучшением жилищного фонда, транспортной и рекреационной инфраструктуры, особое внимание уделяется созданию инфраструктуры учреждений культуры. Строятся новые объекты, такие как Дворец культуры им. И. Шакирова в Азино и Культурный центр в микрорайоне «Салават Купере». На территориях со сложившейся застройкой подвергаются ремонту и реконструкции существующие объекты. Недавно, после реконструкции, открылись Культурно-досуговый комплекс им. Ленина (бывший Дворец культуры им. Ленина) в Авиастроительном районе и Культурный центр Московский (бывший Дворец культуры им. Урицкого) в Московском районе, на завершающем этапе реконструкция Культурного центра «Сайдаш» в Советском районе, в ближайшем будущем планируется начать работы на следующих объектах: культурный центр «Залесный» в пос. Залесный, культурный центр «Чулпан» в Приволжском районе и Дворец культуры им. Сахибгарея Саид-Галеева в поселке Дербышки. Также обновлению подвергаются многочисленные библиотеки и школы искусств на территории Казани [4]. Все это делается с целью обеспечения горожан доступом к культурно-просветительским практикам по месту жительства.

Одновременно с этим реконструкции подвергаются объекты культуры городского значения. В 2015 году завершилась реконструкция Литературного музея Е.А. Боратынского, в 2016 году – Литературно-мемориального музея А.М. Горького. Обе площадки после реконструкции, помимо реализации экспозиционной функции, активно проводят культурные мероприятия зрелищной, литературной и просветительской направленности. Готовятся к реконструкции Комплекс присутственных мест в Кремле и Театр юного зрителя.

Очевидно, что, в случае реконструкции учреждений культуры, замене и обновлению подвергаются не только обветшавшие конструкции. Комплексные изменения происходят в функциональной и технологической структурах зданий. Авторами предлагается сценарный подход, как наиболее целесообразный в данном случае, позволяющий предвидеть различные варианты эксплуатации архитектурного объекта в будущем.

**Сценарный подход в проектировании**

Сценарный подход в проектировании или сценарное проектирование – это универсальный метод, применяемый в экономике, социологии, информатике, урбанистике для прогнозирования, а также в прикладных сферах, таких, как управление предприятием, управление территорией для выбора оптимальной стратегии развития. Предпосылки формирования и основные принципы и области практического применения сценарного подхода рассматривали такие ученые, как Дж. К. Джонс и Дж. А. Огилви [5, 6]. В архитектурной практике сценарный подход в основном применяется в области градостроительства и ландшафтного проектирования, а также при проектировании объектов со сложной технологической схемой. Сценарное моделирование – это литературно-графическая форма раскрытия существа проектируемого объекта. Понятие «сценарий» пришло из сценографии, где под этим термином понимается сюжетная линия, по которой строится спектакль. В рамках сценарного подхода в архитектуре формы взаимодействия горожан с участками городской среды (чаще всего речь идет о публичных пространствах) рассматриваются в сценографических категориях таких, как сценическое действие, мизансцены, игровые эпизоды. В урбанистике «сценарий» – это цепочки эпизодов средового поведения, объединенные сценарием или маршрутом движения. Из сценариев складывается социальная практика, включающая, в том числе: повседневную и праздничную активность; массовые мероприятия и прогулки; занятия физической культурой, утренние пробежки и т.п. Ян Гейл предлагает разделить «необходимые» (функционально и технологически обусловленные), «необязательные» (прогулка и досуг) и «социальные» виды деятельности. Сценарий состоит из отдельных эпизодов. Логика построения сценария имеет «телескопический характер», когда из одного эпизода следует другой. Эпизоды объединяются общей темой или движением во времени. Поведенческий сценарий – это усредненный вариант поведения группы людей, в котором сочетаются естественные желания человека с условностями и нормами внешнего мира [7]. При проектировании архитектурных объектов со сложной

функциональной программой сценарный подход позволяет проанализировать возможные сценарии использования отдельных помещений и всего объекта в целом, а также способы функционирования объекта в структуре общественных пространств города.

Не многие архитекторы напрямую указывают сценарный подход как составную часть своего творческого метода, однако отдельные его принципы прослеживаются в творчестве большинства архитекторов последних десятилетий. Так элементы сценарности присутствуют тогда, когда при проектировании учитывается фактор времени. Например, если принцип расстановки элементов благоустройства зависит от предполагаемого времени преодоления этих расстояний разными группами потребителей (пешеходами, велосипедистами, пожилыми людьми, маломобильными группами населения и т.д.), а также основных маршрутов передвижения этих групп (связи между точками притяжения). То есть в основу проекта заложен сценарий использования территории. Другим примером выражения сценарного подхода может служить учет на этапе проектирования всех стадий функционирования здания, присущий направлению «метаболизм». Здание не рассматривается как статичный объект, неизменный во времени, напротив, в проект закладываются возможности трансформации, которые обеспечиваются соответствующими объемными и конструктивными решениями. Более полно эта идея реализуется в том случае, когда прогнозируемый «сценарий» охватывает не только сам архитектурный объект, выраженный в конструкциях, но и его экономическое, экологическое, социальное влияние. Такие комплексные сценарии необходимы в частности для прохождения добровольной сертификации зданий, претендующих на энергоэффективность и экологичность решений, например, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) [8] или BREAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) [9].

На данный момент авторами не было выявлено определения термина «сценарный подход в проектировании», относящегося к области архитектуры. В контексте данного исследования можно принять следующее рабочее определение: представление об архитектурном объекте как о развивающейся системе архитектурных пространств в соответствии с возможными способами использования этих пространств, а также совокупность принципов и приемов проектирования, основанных на данном представлении.

**Сценарный подход в творчестве российских и зарубежных архитекторов**

Среди зарубежных архитекторов наиболее ярко пропагандирует сценарный подход немецкий архитектор Оле Шерен. Он начал свою карьеру в архитектурной фирме Рема Колхаса «OMA» и стал там партнером в 2002 году. После чего, в начале 2010 г., он покинул «OMA», чтобы основать собственную мастерскую Büro Ole Scheeren в Пекине. В своих проектах, таких как комплекс Центрального китайского телевидения CCTV в Пекине (совместно с Рэмом Колхасом и Сёхэй Сигэмацу), жилой массив Interlace в Сингапуре, башня MahaNakhon в Бангкоке, он применил сценарный подход при проектировании функционально-технологической схемы объектов, что отразилось и в фасадных решениях. Здание комплекса Центрального китайского телевидения CCTV имеет форму «петли», в которой размещен полный цикл производства телепередач от начала работы до передачи в эфир, что оправдано с функциональной точки зрения и одновременно символизирует цикличность происходящих там процессов своей внешней формой. Успеху и многочисленным наградам, в том числе и Urban Habitat Award, жилого комплекса Interlace способствовал избранный архитектором подход к проектированию архитектурой формы как отражения разнообразных социальных сценариев, происходящих внутри. Модульная структура способствует образованию многочисленных разномасштабных и разноуровневых пространств, предлагая жителям многообразные сценарии использования данной территории. Башня MahaNakhon интересная своим запоминающимся фасадом – 314-ти метровую прямоугольную башню опоясывает спираль, которая визуально разрушает целостность фасада, образуя многочисленные балконы и галереи. По задумке архитектора «незавершенная» форма таких балконов и галерей должна преобразиться в зависимости от сценария использования этих пространств жильцами [10] (рис. 1 а-в).

а)

б)

в)

г)

д)

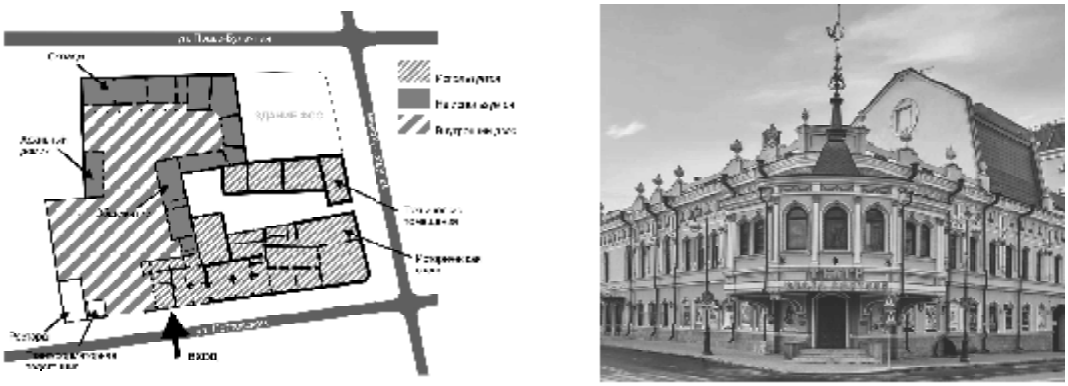
Рис. 1. Примеры построек, спроектированных с применением сценарного подхода:
а) здание комплекса Центрального китайского телевидения CCTV (фото с сайта https://archi.ru);
б) жилой комплекс Interlace (фото с сайта https://archi.ru);
в) башня MahaNakhon (фото с сайта https://archi.ru);
г) жилой комплекс «Рассвет LOFT*STUDIO» (фото с сайта http://dnk-ag.ru);
д) жилой комплекс «Горки» (фото с сайта http://dnk-ag.ru)

Среди российских архитекторов приверженность сценарному подходу выражают основатели бюро «ДНК» Даниил Лоренц, Наталья Сидорова и Константин Ходнев. По их мнению, потенциальных заказчиков и девелоперов в первую очередь интересует сценарий будущей жизни на территории проектирования. В своем проекте жилого комплекса «Горки» архитекторы разработали сценарий, совмещающий городские и деревенские практики. В микрорайоне сочетаются гуманный масштаб, связь с природой, наличие палисадников и серых пространств, присущих сельской архитектуре с развитой инфраструктурой обслуживания, свойственной городу. В другом проекте реконструкции промышленного здания «Рассвет LOFT*STUDIO» архитекторы предусмотрели множество индивидуальных сценариев для жильцов, выбирающих лофт в качестве пространства для жизни-работы-творчества. Визуально это проявляется в том, что протяженный фасад позднесоветского промышленного здания расчленен на отдельные «дома» так, что каждый жилец может ассоциировать свои апартаменты с отдельным «домом». Авторы проектов подчеркивают необходимость наряду с пользовательскими сценариями серьезно продумывать сценарии технические, обслуживающие, утилитарные, чтобы «жизнь» здания проходила без сбоев [11] (рис. 1 г-д).

Таким образом, можно заключить, что сценарный подход успешно применяется для проектирования как жилых, так и общественных зданий. При этом сценарность может заключаться в проработке повторяющихся вариантов использования объекта или в создании сценария развития всего здания в течение срока его эксплуатации.

**Применение сценарного подхода при создании концепции реконструкции Казанского театра юного зрителя**

Комплекс зданий Казанского театра юного зрителя (ТЮЗ) расположен в историческом квартале, ограниченном улицами Островского, Кави Наджми и Право-Булачная. Нынешняя территория театрального комплекса сформирована несколькими домовладениями, принадлежавшими купцам. Соседство с протокой Булак способствовало успешной торговле. Домовладение неоднократно перестраивалось, и к 1903 году угловой дом увеличился настолько, что в нем весьма комфортно расположилось Купеческое собрание. Около десяти лет до первой мировой войны здесь шла оживленная театральная жизнь, проводились и просветительские мероприятия. После Октябрьской революции здесь был открыт Дом татарской культуры, где организовывались выставки, ставились спектакли. В 1935 году здание было отдано Казанскому театру юного зрителя. Здание театра пострадало в пожаре 1995 г., после чего было частично восстановлено. В 2017 г. к комплексу Казанского государственного театра юного зрителя присоединили территорию с историческими складами, в связи с чем появилась необходимость в масштабной реорганизации пространства театра (рис. 2).



а) б)

Рис. 2. Текущее состояние Комплекса Казанского ТЮЗа:
а) схема плана (иллюстрация авторов);
б) Вид с пересечения улиц Островского и Кави Наджми (фото с сайта https://kazan-tuz.ru)

С расширением площадей расширится и функциональная программа комплекса. Театр юного зрителя должен стать площадкой для развития и реабилитации семейных коммуникаций в игровой форме, а значит должен, помимо театральной функции, осуществлять также образовательную, воспитательную, просветительскую функции. Театр, таким образом, становится городским культурным центром для посетителей всех возрастов, превращаясь в своего рода «третье место». В связи с этим были поставлены следующие задачи:

- акцентирование объекта в структуре окружения (расположение входных узлов в местах наиболее оживленного пешеходного трафика);
- приспособление части помещений комплекса под новые функции;
- увеличение количества сценических площадок (помимо существующей классической сцены необходимо предусмотреть малую сцену, репетиционный зал и экспериментальную площадку (black box) и репетиционный зал);
- реконструкция технических помещений (цеха, мастерские, склады декораций и т.п.), а также обеспечение коммуникаций между технической зоной и сценами;
- организация трафика посетителей (входные узлы, вестибюльные группы, транзит);
- обеспечение инклюзивности во всем комплексе;
- организация парковки служебных автомобилей и автомобилей посетителей;
- разработка технологии использования внутреннего двора для проведения культурных мероприятий и ежедневного использования.

При разработке проекта были приняты следующие ценности:
- коммуникации в формате игрового взаимодействия;
- многофункциональность и трансформируемость пространства;
- проницаемость пространства.

**Основной принцип проектирования**

В качестве основного принципа было принято высказывание немецкого архитектора Оле Шерена о том, что на смену лозунгу Луиса Салливена, ставшему главной идеей архитектуры XX века «Форма следует за функцией (Form follows function)», приходит новый лозунг «Форма следует за сюжетом (Form follows fiction)» [12]. Это значит, что в основу проектирования ложатся не статичные функциональные схемы, а развивающиеся во времени сценарии использования пространств комплекса.

В качестве основных категорий посетителей приняты:

- Семьи с детьми (родители с детьми могут, как участвовать в совместных практиках, так и разделяться в процессе освоения пространств комплекса).
- Молодежь, представленная неформальными группами (неформальные молодежные группы осваивают пространство комплекса в свободной манере, не привязываясь к конкретным мероприятиям; для них отдельные помещения комплекса должны функционировать непрерывно и предусматривать различные варианты использования – театр как общественное пространство).
- Организованные группы школьников (группы школьников посещают театр в регламентированной форме; их посещение необходимо организовать максимально компактными маршрутами).
- Воспитанники Театра юношеского творчества (ТЮТ) (на базе ТЮЗа планируется открыть образовательную площадку, где школьники смогут постигать основы театральных профессий в рамках дополнительного образования).
- Начинающие артисты (для начинающих исполнителей в структуре комплекса театра предусмотрены помещения, которые можно арендовать для репетиций, а также общие пространства для общения и обмена опытом).

**Разработка сценариев посещения**

Сценарии посещения разрабатываются для каждой категории посетителей в определенные временные промежутки: утро, день, вечер буднего дня и выходной день. Сценарий представляет собой непрерывный маршрут с указанием основных функциональных процессов.

Пример разработки сценариев для выходного дня:

- Семьи с детьми (семья сначала попадает в Baby-театр, где оставляет младшего ребенка в детской комнате (1), родители со старшим ребенком вместе идут на спектакль на Классической сцене (2), после спектакля, забрав младшего (3), семья может поужинать и купить книги и сувениры в Многофункциональном пространстве (4) (рис. 3)).

- Молодежь (группа молодых людей встречается в кафетерии, далее отправляется на экспериментальный спектакль в Камерном зале под сводами, после этого – на открытый мастер-класс в Театр юношеского творчества).

- Организованная группа школьников (школьники попадают в Амфитеатр Театра юношеского творчества, где участвуют в беседе о предстоящем спектакле (смотрят образовательное видео и т.п.), далее посещают спектакль на Классической сцене, завершают посещение мастер-классом по мотивам спектакля в Театре юношеского творчества).

- Воспитанники театра юношеского творчества (ребята собираются в Амфитеатре, занимаются в мастерских, посещают творческую лабораторию в Репетиционном зале вместе с профессиональными актерами).

- Посетители многофункционального пространства (начинающие артисты и коллективы могут арендовать репетиционные точки в Многофункциональном пространстве и посетить творческую лабораторию в Репетиционном зале).

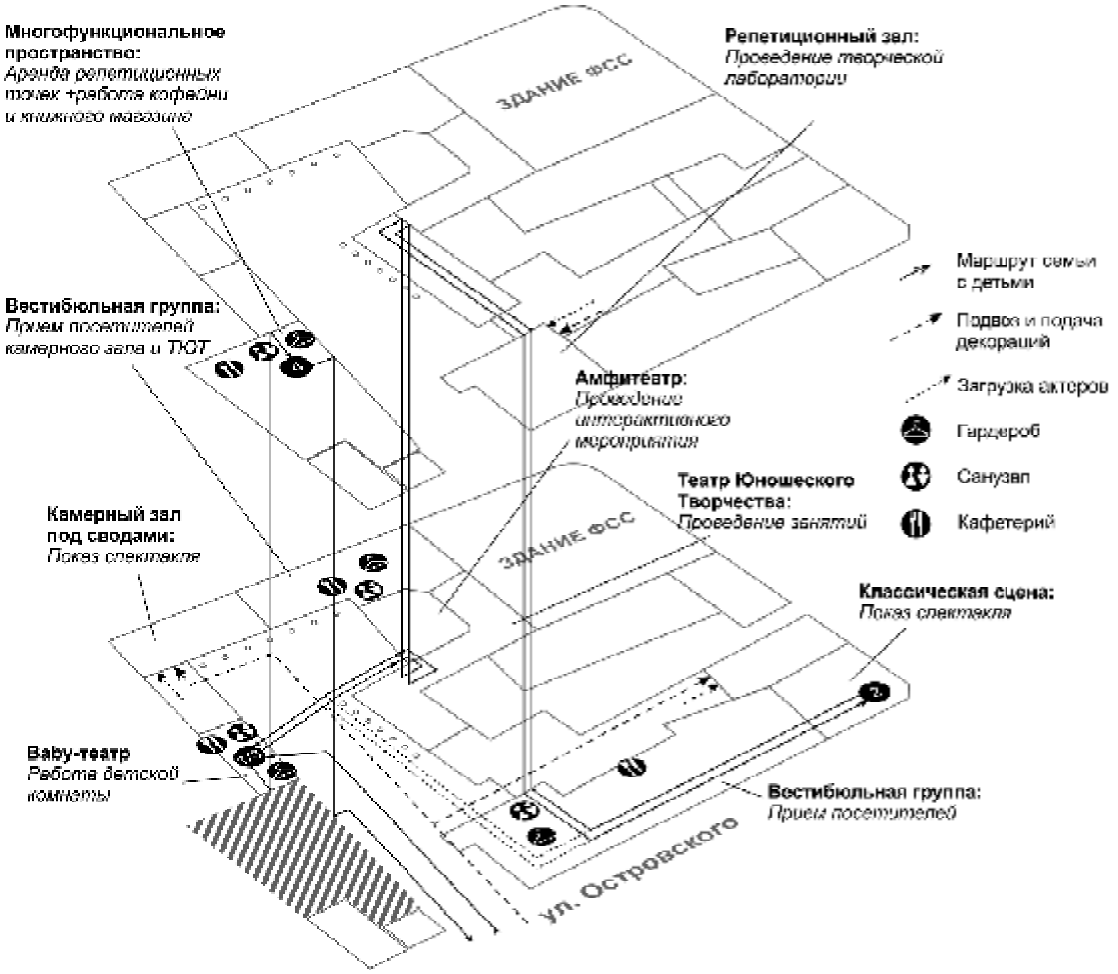


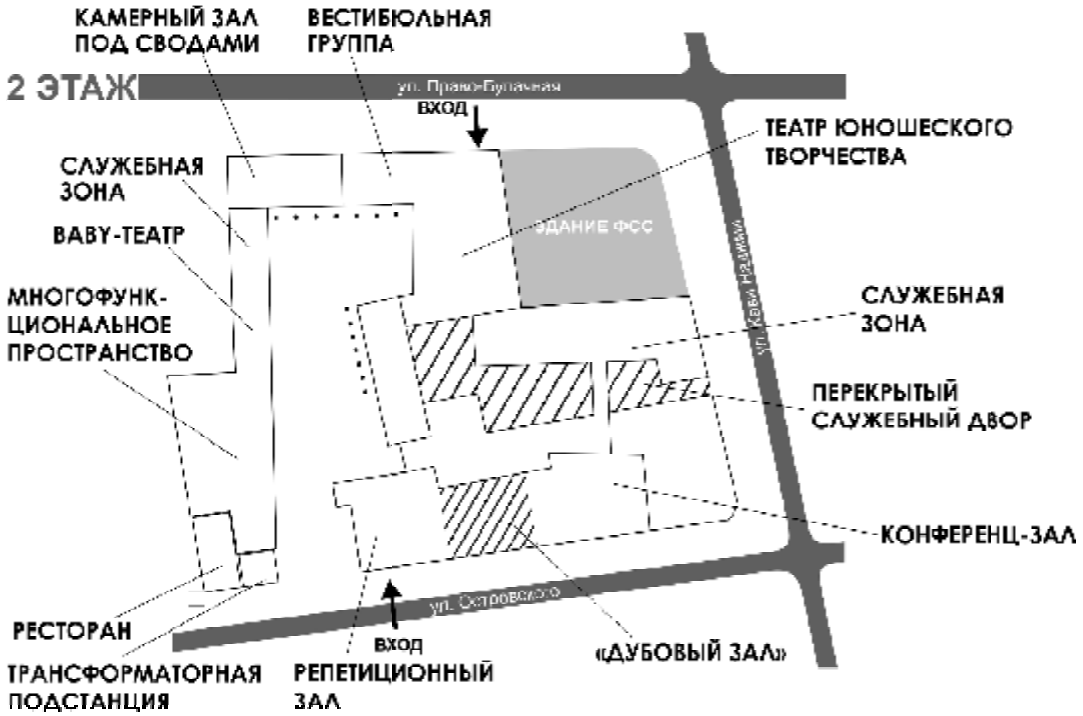

Рис. 3. Схема маршрута семьи с детьми в выходной день (иллюстрация авторов)

**Функциональное зонирование на основе разработанных сценариев**

При наложении сценариев на пространственную структуру комплекса необходимо было учесть следующее: обеспечить возможность пройти весь маршрут не покидая

здание (по возможности), распределить функциональные процессы по имеющимся и вновь возводимым пространствам таким образом, чтобы добиться согласованности функционирования всех процессов, отсутствия простаивания площадей и сохранения целостного восприятия комплекса, как памятника архитектуры.

а)




б)

Рис. 4. Схема функционального зонирования Казанского ТЮЗа (иллюстрация авторов):
а) 1 этаж; б) 2 этаж

**Заключение**

В статье рассмотрен сценарный подход в проектировании в контексте архитектурной реконструкции объектов культуры. В архитектурной практике сценарный подход в основном применяется в области градостроительства и ландшафтного проектирования, а также при проектировании объектов со сложной технологической схемой. Таким образом, задачи, связанные с совмещением множества функций (театральные, образовательные, просветительские, досуговые, экспозиционные и прочие функции, включая функции общественного питания) в современных объектах культуры могут быть решены с помощью сценарного подхода.

На примере архитектурной реконструкции Казанского Театра юного зрителя был применен сценарный подход на стадии разработки концепции функционального зонирования. Были определены основные категории посетителей театра, и для каждой категории были разработаны маршруты для различного времени суток и в зависимости от дня недели. Для каждого пункта таких сценариев было назначено пространство из числа имеющихся или вновь возводимых на данной территории таким образом, чтобы несколько процессов могли проходить в одном пространстве, если они разделены во времени, или если характеристики этого пространства (например, большая площадь, наличие мобильных перегородок) позволяют их совмещать одновременно.

Таким образом, сценарный подход позволяет рассматривать функциональное зонирование не как статичную схему, а как развивающуюся систему использования архитектурных пространств в соответствии с особенностями проходящих там процессов.

**Список библиографических ссылок**

1. Стратегия социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года // KZN.RU: официальный сайт мэрии г. Казань. 2016. URL: https://www.kzn.ru/o-kazani/strategiya-kazani-2030/ (дата обращения: 18.08.2019).
2. Архитектура объектов культуры: опыт проектирования и мировые тенденции // ARCHSOVET.MSK.RU: официальный сайт Архитектурного совета города Москвы. 2016. URL: https://archsovet.msk.ru/article/sobytiya/arhitektura-ob-ektov-kul-tury-opyt-proektirovaniya-i-mirovye-tendencii (дата обращения: 18.08.2019).
3. Айдарова (Айдарова-Волкова) Г. Н. «Старое» и «новое» в архитектуре древней Казани – два крыла устойчивого сохранения и развития исторического центра // Архитектура и строительство России. 2018. № 3. С. 20–24
4. Казань потратит на ремонт учреждений культуры 4,5 млрд. рублей // RT.RBC.RU: официальный сайт информационного агентства РБК. 2019. URL: https://rt.rbc.ru/tatarstan/18/03/2019/5c8f60d29a7947b535329765 (дата обращения: 18.08.19).
5. Джонс Дж. К. Методы проектирования. М. : Мир, 1986. 326 с.
6. Ogilvy J. A. Creating Better Futures: Scenario Planning as a Tool for a Better Tomorrow. Oxford : Oxford University Press, 2002. 256 p.
7. Крашенинников А. В. Сценарное проектирование городской среды // Architecture and Modern Information Technologies. 2017. № 4 (41). С. 242–256.
8. The impact of buildings // NEW.USGBC.ORG: official site of U.S. Green Building Council. 2019. URL: https://new.usgbc.org/leed (дата обращения: 18.08.19).
9. What is BREEAM? // BREEAM.COM: official site of BREEAM Certification. 2019. URL: https://www.breeam.com/ (дата обращения: 18.08.19).
10. Оле Шерен // ARCHI.RU: официальный сайт интернет издания archi.ru. 2019. URL: https://archi.ru/architects/world/10296/ole-sheren (дата обращения: 18.08.19).
11. Зачем архитекторы пишут сценарий: два примера из практики DNK ag // ARCHIGRAMMA.RU: интернет-издание об архитектуре, дизайне и градостроительстве. 2016. URL: http://archigramma.ru/article/zachem-arhitektory-pishut-stsenarij-dva-primera-iz-praktiki-dnk-ag (дата обращения: 18.08.19).
12. Ole Shereen: Why great architecture should tell a story // TED.COM: official site of TED conference. 2015. URL: https://www.ted.com/talks/ole_scheeren_why_great_architecture_should_tell_a_story?language=en (дата обращения: 18.08.19).

**Bashirova Elza Ildarovna**
senior lecturer
E-mail: bashirova.arch@gmail.com
**Nizamov Rashit Kurbangalievich**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: nizamov@kgasu.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

# Application of scenario approach in the development of functional zoning during the architectural reconstruction and restoration for the Kazan Theatre of Young Spectator

**Abstract**

*Problem statement.* Contemporary cultural practices place high demands on the spatial organization of the building, which requires a significant revision of the functional structure of existing facilities.

*Results.* On the basis of modern domestic and foreign experience in applying the scenario based approach, its basic principles were formulated and the development of a functional zoning scheme for the complex of buildings of the Kazan Young Spectator Theater was carried out. Functional processes were distributed among existing and newly erected spaces in such a way as to achieve coordination of the functioning of all processes, lack of idle space and maintain a holistic perception of the complex as an architectural monument.

*Conclusions.* The significance of the results for architecture lies in identifying the potential of the scenario based approach in designing during the architectural reconstruction of cultural institutions, through the elaboration of functional zoning as a developing system of spaces applying in accordance with the features of the processes taking place there.

**Keywords:** scenario based approach, architectural reconstruction of cultural institutions, Kazan Young Spectator Theater.

## References

1. The strategy of socio-economic development of the Municipality of Kazan until 2030 // KZN.RU: official website of the City hall of Kazan. 2016. URL: https://www.kzn.ru/o-kazani/strategiya-kazani-2030/ (reference date: 18.08.2019).
2. Architecture of cultural objects: design experience and global trends // ARCHSOVET. MSK.RU: official website of the Moscow Architectural Council. 2016. URL: https:// archsovet.msk.ru/article/sobytiya/arhitektura-ob-ektov-kul-tury-opyt-proektirovaniya-i-mirovye-tendencii (reference date: 18.08.2019).
3. Aidarova (Aidarova-Volkova) G. N. «Old» and «new» in the architecture of ancient Kazan – two wings of sustainable conservation and development of the historical center // Arhitektura i stroitel'stvo Rossii. 2018. № 3. P. 20–24
4. Kazan will spend 4.5 billion rubles on the repair of cultural institutions // RT.RBC.RU: official website of the RBC news agency. 2019. URL: https://rt.rbc.ru/tatarstan/18/03/ 2019/5c8f60d29a7947b535329765 (reference date: 18.08.19).
5. Jones J. Ch. Design methods. M. : Mir, 1986. 326 p.
6. Ogilvy J. A. Creating Better Futures: Scenario Planning as a Tool for a Better Tomorrow. Oxford : Oxford University Press, 2002. 256 p.
7. Krasheninnikov A. Scenario-based design of the built environment // Architecture and Modern Information Technologies. 2017. № 4 (41). P. 242–256.
8. The impact of buildings // NEW.USGBC.ORG: official site of U.S. Green Building Council. 2019. URL: https://new.usgbc.org/leed (reference date: 18.08.19).

9. What is BREEAM? // BREEAM.COM: official site of BREEAM Certification. 2019. URL: https://www.breeam.com/ (reference date: 18.08.19).
10. Ole Shereen // ARCHI.RU: the official website of the archi.ru online journal. 2019. URL: https://archi.ru/architects/world/10296/ole-sheren (reference date: 18.08.19).
11. Why do architects write a scenario: two case studies from the practice of DNK ag // ARCHIGRAMMA.RU: an online magazine about architecture, design and urban planning. 2016. http://archigramma.ru/article/zachem-arhitektory-pishut-stsenarij-dva-primera-iz-praktiki-dnk-ag (reference date: 18.08.19).
12. Ole Shereen: Why great architecture should tell a story // TED.COM: official site of TED conference. 2015. URL: https://www.ted.com/talks/ole_scheeren_why_great_architecture_should_tell_a_story?language=en (reference date: 18.08.19).

УДК 72.07
**Лотфуллина Алина Рустамовна**
архитектор
E-mail: linalotfullina22@gmail.com
**ООО «Аксиом Архитект»**
Адрес организации: 420103, Россия, г. Казань, ул. Ф. Амирхана, д. 14б
**Краснобаев Иван Васильевич**
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: tia.kgasu@gmail.com
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

# К вопросу о взаимовлиянии архитектурного проектирования и сценографического искусства

**Аннотация**

*Постановка задачи.* В данной статье рассмотрены процессы, при которых происходит взаимодействие архитектурного проектирования и сценографического искусства. Цель исследования – определить, способны ли методы художественного оформления театральных постановок найти свое применение в организации городской архитектурной среды. Авторами были поставлены следующие задачи: 1) изучить историю возникновения и хронологию развития театрального искусства и сценографии; 2) проанализировать то, как происходит соприкосновение театра и архитектуры: рассмотреть работы архитекторов-сценографов, изучить деятельность творческих групп, которые использовали методы слияния различных сфер искусств (в том числе архитектуры и театра) при создании своих произведений, а также выяснить, играет ли роль изучение архитектуры при получении сценографического образования и наоборот; 3) выявить, способно ли архитектурное пространство, организованное сценографическими подходами как пространство сценическое, оказать положительное влияние на культурное развитие пользователей.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в определении качества взаимовлияния архитектуры и сценографии.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в формировании подходов, способных положительным образом повлиять на ее развитие и создать пространства, увеличивающие культурный уровень общества.

**Ключевые слова:** архитектура, сценография, театр, искусство, сцена.

## Введение

Взаимодействие областей архитектуры и театра происходит в разных формах. Главная задача архитектурного проектирования в театральном искусстве – это создание специального здания для проведения перформативных представлений. Театр же проявляется в архитектуре во внешнем облике объектов, что может быть обнаружено через композиционный анализ фасадов, и выявление в них таких качеств, как театральность, театрализация и зрелищность. Но есть еще одна область, в которой происходит соприкосновение театра и архитектуры – это сценография.

Сценография – искусство художественного оформления театральной сцены, а также само такое оформление. Состоящая из определенных декораций, собранных в единую композицию, она представляет собой архитектуру представления. Несмотря на высокую значимость сценографии при постановке театральных игр, формирование ее как отдельного вида изобразительного творчества значительно уступает по времени возникновению театрального искусства.

## История взаимодействия сценографии и архитектуры

В античной Греции и Риме ведущая роль в представлении того, как будет выглядеть сцена, отводилась архитекторам, а точнее их сооружениям и всему из чего они состояли:

орхестры, просцениум, амфитеатр, театрон, по той причине, что драматургия того времени не требовала точности в репрезентации пространства происходящего действия.

Эпоха средневековья тоже не нуждалась в художниках-оформителях, так как театральное действие с сюжетами-мистериями разыгрывалось непосредственно внутри соборов или перед ними. В этот период, благодаря знаниям архитекторов-инженеров, были созданы передвижные сценические площадки (в 1476 году впервые зафиксированы постановки пьес в Испании на сценах-повозках).

В XV-XVI вв. мастера архитектуры и живописи принимают участие в организации пространств для театральных игр. Среди них значатся такие знаменитые художники как Филиппо Брунеллески и Леонардо да Винчи. Их выдающиеся способности в инженерной сфере и в изобразительном искусстве позволяли создавать новаторские и запоминающиеся спектакли. В этот же период образуется термин «перспектива».

Перспектива, как техника изображения, появилась в эпоху Ренессанса, поскольку в то время достигло расцвета реалистическое направление в изобразительном искусстве. Созданная система передачи зрительного восприятия пространственных форм и самого пространства на плоскости позволила решить проблему, стоявшую перед архитекторами и художниками. Многие из них использовали для определения перспективы стекло, на котором обводили правильное перспективное изображение требуемых предметов.

Данная система позволила создавать объемные пространственные или перспективные декорации и придать больше выразительности происходящему на сцене. Оформление в виде уходящей вдаль уличной мизансцены украшало сцену театра Олимпико, построенного по проекту Андреа Палладио в городе Виченца. Данное сооружение, содержащее в себе сцену-коробку, стало для архитекторов образцом для проектирования театральных зданий.

Мода на театрализацию жизни в XVII-XVIII вв. привела к тому, что различия между театром и изобразительным искусством становились все менее заметны. Художники эпохи барокко и классицизма – те, что занимались станковой живописью и скульптурой, и те, что отвечали за сценическое оформление спектаклей, создавали великолепные пространственные панорамы. Пьетро ди Готтардо Гонзаго (1751-1831) – итальянский архитектор, который в России нашел свое призвание в качестве сценографа, и считается одним из лучших мастеров в истории изобразительного искусства оформления сцены, называл театральные декорации «музыкой для глаз» (здесь напрашивается аналогия со знаменитой фразой: «Архитектура – застывшая музыка»).

Архитекторы на протяжении всего периода существования театрального искусства занимаются разработкой проектов театральных зданий. Выразительные образцы музыкальных и драматических театров были созданы в XIX и XX вв. Именно в это время театрально-декорационное творчество обозначило себя как самостоятельный вид искусства.

Необходимость в единстве замысла автора с постановкой на сцене, привела к образованию профессии «режиссер». Вместе с этим художник в театре перестает играть роль пассивного исполнителя в оформлении игрового пространства; декорации не переходят от одной постановки к другой, образуется запрос на поиск таких мастеров, которые создают определенный дизайн для конкретного представления. Так начинается история театрально-декоративного искусства [1].

Двадцатый век начался с того, что отечественный театр покорил европейского зрителя во время проведения русских сезонов Дягилева, когда сценические пространства были украшены впечатляющими работами Бакста, Анисфельда, Бенуа и других художников. Это был расцвет русского искусства оформления сцены. Затем в послереволюционное время сцена становится экспериментальной площадкой для самых разнообразных идей. Яркий пример – работа Л. Поповой и В. Мейерхольда над постановкой «Великодушный рогоносец». Созданная в 1922 году игровая площадка представляет собой не совокупность декораций на фоне расписанного задника, а самостоятельную обособленную от сцены конструкцию, которая могла быть размещена в любом месте, в том числе за пределами здания театра. Актеры перемещались по ней и ее структура, полностью соответствовавшая разворачивающимся действиям пьесы и не имеющая декораций и украшений, стала примером театрального конструктивизма. С этого момента началась история функциональной сценографии [2].

В качестве режиссера-художника в театр приглашались не только живописцы, но и мастера архитектуры, графики и скульптуры. Происходило это по причине того, что профессия сама по себе синтетична и требует от исполнителя высокого уровня развития в разных областях. Как писал Михаил Френкель в книге «Современная сценография»: «Сценограф – автор пластической режиссуры спектакля – это художник, овладевший знаниями и навыками живописца, графика, зодчего, скульптора, инженера-конструктора, технолога, макетчика, осветителя. Он должен обладать специфическим театральным мышлением, знать классическую и современную литературу, драматургию, историю театра, историю искусств, историю материальной культуры. Он обязан быть на высоте своего времени политически и морально» [3].

Что привлекало архитекторов, начиная от П. Гонзаго, и заканчивая современными мастерами, такими как С. Морозов, И. Уткин, Г. Цыпин, Й. Свобода, М. Бархин, к занятию сценографией? Что общего между деятельностью театрального художника и архитектора? Во-первых, то, что сценография – это, прежде всего, работа с пространством. Театрально-декорационное творчество отвечает за обозначение места действия и его визуальный образ, костюмы персонажей и подбор реквизита, но это еще не определение «сценографии». Сценография – это строительство театрального пространства, при котором учитывается взаимодействие сцены и зрительного зала. Понимание того, как работает пространство, и грамотный выбор решений по организации среды вырабатывается во время теоретической и практической архитектурной деятельностью. Во-вторых, как уже было написано выше, сценограф и архитектор должны уметь работать в разных областях, владеть компьютерными программами (чтобы конструировать пространство на начальном этапе), находить правильное применение реквизиту и инсталляциям, знать материалы, и понимать, как действовать, будучи ограниченным в них, равно как и в площади сцены. В-третьих, можно провести аналогию практической деятельности в театре и в архитектурном бюро: и то и другое представляет собой коллективную работу. Это причина, по которой живописцы, привыкшие работать в одиночку, не смогут проявить себя (чувствовать себя комфортно) в театральной художественной сфере. Специфичность профессии сценографа проявляется в «техзадании», составленном режиссером, которое говорит не об условии выбора определенного цвета перегородок, количества мебели и т.д., а о том, какое настроение и атмосфера должны быть выражены на сцене, какие основные идеи необходимо передать зрителю. В этом плане художнику сценического пространства сложнее, чем архитектору.

Для обучения сценографическому искусству и архитектурному проектированию нужно знать основы черчения, композиции, рисунка, живописи и макетирования. На подготовительных курсах в ГИТИСе проходит изучение этих предметов (они и составляют основу вступительных испытаний при приеме на первый курс бакалавриата по специальности «Сценография»). Что же касается театральных дисциплин, обучающих тому, как работает сцена, как создается образ, то надо отметить, что они не входят в перечень изучаемых предметов в классическом архитектурном образовании нашей страны. Однако подобное взаимодействие происходило в Баухаузе, когда в 1921 году Оскар Шлеммер открыл сценическую лабораторию. Под его руководством студентами был создан «Триадический балет», который внес вклад в развитие театрального искусства. Еще один преподаватель этого учебного заведения – Лотар Шрейер – в своей педагогике делал упор на синестезию (свойство человеческого мозга, при котором восприятия одних органов чувств способны влиять на создание образов, возникающих при раздражении других органов чувств). Обозначив в театре синтезирующую функцию, О. Шлеммер и Л. Шрейер стали применять научный подход к его изучению. Пауль Клее разработал схему субординации учебных дисциплин, ядром которой было словосочетание Bau und Bühne (Строительство и Сцена). На сегодняшний день практика внедрения такого подхода к обучению нашла свое продолжение в учебных заведениях США, где во многих университетах есть дисциплины театральной направленности, что произошло как раз под влиянием Вальтера Гропиуса [4].

Помимо художественного объединения Баухауза, в XX веке существовали и другие движения, проводившие эксперименты в архитектурной сфере, в том числе при взаимодействии ее с другими областями искусств. Одно из них – «бумажная архитектура»,

которая объединила в себе приемы выразительных средств живописи, архитектуры, театра и литературы. Работы «бумажных архитекторов» – это фантазии на тему того, какой могла бы быть архитектура, создание концепций, отвечающих на вопрос «что, если?».

«Бумажная архитектура» начала существовать, как только архитектурные идеи стали изображать на бумаге. С того времени этим определением начали пользоваться в Европе. В России первым употребил его один из братьев Весниных в конце 1920-х начале 30-х годов; термин носил окрас профессионального ругательства. Положение «бумажной архитектуры» изменилось в 1984 году, после того как Юрий Аввакумов и Андрей Савин выбрали это словосочетание в качестве названия для своей выставки. Сейчас данным термином принято обозначать жанр концептуального проектирования в СССР в 1980-х годах.

Движение «бумажных архитекторов» началось с создания архитектурных концепций для конкурсов, проводившихся в разных странах, главным образом в Японии. В условиях политического режима того времени было проблематично как доставать информацию о них, так и отправлять работы за границу. Ответственность за это взял на себя Ю. Аввакумов, ставший лидером БУМАРХа. К основоположникам этой группы также относятся: Илья Уткин, Александр Бродский, Михаил Белов.

Проектирование реальных строительных объектов и создание концепций – это, по словам Аввакумова, «разные архитектуры». Поэт и писатель Дмитрий Быков сказал, что не понимает материальные искусства архитектуры и дизайна, так как они не занимаются душой и в них отсутствует сюжет. «Бумажная архитектура» восстановила связь с душой за счет проработки идеи, обращения к великим литературным произведениям (мифам) и построения сюжета, что также придало работам глубину. Этим фактом подтверждается положительное влияние взаимодействия разных сфер искусств в творческом процессе.

Движение БУМАРХа остановилось в 1990-х годах. Несмотря на то, что смелые мечты его последователей остались на стадии концепции, в их реализованных проектах большой архитектуры, в деятельности Ю. Аввакумова по организации выставок, инсталляциях А. Бродского, и в сценографии И. Уткина, С. Морозова, С. Бархина прослеживается влияние «бумажной архитектуры».

Символично, что закат этого движения совпал с завершением использования бумаги, как основного материала для архитектора. На смену туши, кальке, карандашам, рапидографам, рейсфедерам пришли проектировочные программы, компьютерные мыши и мониторы. Проекты бумажных архитекторов, как пишет Аввакумов, – это «...будущее, в котором мы живем или могли бы жить. Будущее, изображенное графическими средствами прошлого. Частная утопия в тотальной дистопии» [5].

В зарубежной концептуальной архитектуре XX века такие работы, как «Город в пространстве» (И. Фридман, 1958 г.), «Дворец веселья» (С. Прайс, 1964 г.), «Новый Вавилон» (К. Ньювенхейс, 1974 г.), и работы группы Archigram, представляя собой модели-утопии будущего, также относятся к «бумажной архитектуре». Для того, чтобы разработать эти проекты, урбанисты и архитекторы того времени обращались как к новым научным явлениям – кибернетике, теории игр, информационным технологиям, так и к театру. Авторы хотели покончить с разобщенностью потребителей и окружающей их среды, причиной которой считали модернистскую архитектуру, выдвигавшую на первый план функциональное назначение зданий для людей. Начинаются поиски психоэмоционального воздействия пространства и формы на зрителя. В ответ на разделенную по функциям среду модернистского города, в котором жизненные деятельности изолируются друг от друга, выдвигается идея гетерогенной, интерактивной среды.

Участники группы Archigram выдвигали теорию о «неопределенной архитектуре», которая имеет незаконченный, открытый для перемен, план, и способна изменяться в зависимости от новых запросов пользователей. В данном случае пользователи воспринимаются не в качестве пассивных зрителей-наблюдателей, а как те, кто принимает участие в развитии пространства, и становятся активными игроками. Возможность выбора организации и контроля над пространством перестает быть прерогативой, традиционно принадлежавшей архитектору [6].

«Живое» архитектурное пространство, своевременно реагирующее на события окружающей среды и изменяющееся в зависимости от запросов пользователей, сравнимо с пространством сцены, постоянно трансформирующимся за счет разных сценографических

решений. Концептуальные проекты мобильной, кинетической, динамической, гибкой (флексибильной), неопределенной (детерминированной) и ситуационной архитектуры XX века были направлены на прогнозирование событий определяемых и неопределяемых во времени. Архитектура, ориентированная на события, вызывает игровое отношение пользователя к пространству. Среду можно назвать «зрелищной» в том случае, если она пробуждает интерес у зрителя. Пользователь, вовлеченный в изменение пространства, становится действующим лицом и чувствует свою причастность к происходящим событиям, в то время как архитектурная среда трансформируется в лучшую сторону, своевременно отвечая потребностям человека. Из чего следует, что подобное взаимодействие оказывает положительное влияние на обе стороны.

Рассматривая архитектуру в качестве сценографии для жизни, помимо сравнения города с театром можно привести различные аналогии.

**Сцена – общественные и публичные пространства**

В театре городского пространства, сцены, на которых разворачиваются действия с участием большего количества горожан (наблюдателей-зрителей или участников-актеров) – это общественные и публичные пространства. Большие улицы тоже можно включить в этот список с тем условием, что люди, использующие их в качестве исключительно транзитных путей, представляют собой одинокую толпу, а не общество (до тех пор, пока на улицах не проходят демонстрации, манифестации или карнавалы, актуализирующие данное нейтральное городское пространство). Даже в тех случаях, когда в открытом городском пространстве не происходит проведение запланированных мероприятий, любое место способно восприниматься как сцена, если на ней происходит процесс, при котором внешний стимул обеспечивает связь между людьми и побуждает незнакомых людей разговаривать друг с другом. Стимулами могут быть и уличные артисты: музыканты, художники и объекты уличного искусства.

Для философов (в частности Поля Вирильо и Мартина Хайдеггера) публичное пространство – это искусственно созданная пустота, способная конституировать общество. Их мнения поддерживают тезис Жана Нувеля о том, что для него как для архитектора создание пустоты, вакуума, в котором общество могло бы себя конституировать является главной задачей. Для чего нужен горожанам такой тип пространств? Хайдеггер пишет, что публичные пространства – это поле открытости в современном мире, это места, позволяющие увидеть мир в его цельности «несокрытости», в то время, как сокрытость мира происходит от рутины частной повседневной жизни. Публичная жизнь, публичное взаимодействие заставляют человека переживать опыт экспонирования и вместе с тем ощущать себя частью общества [7].

**Художник-постановщик – архитектор**

Такое развитие событий, когда архитектор начинает заниматься сценографией, вполне закономерно. Обратная ситуация, когда режиссер решает для себя, что заниматься сценариями развития городов намного интереснее и становится архитектором, произошла с Ремом Колхасом. Обладая опытом написания сценариев, Колхас развивает идею «оживших» зданий, как актеров на сцене города (они же становятся последовательно организованными эпизодами в пространстве). Архитектор программирует траектории перемещения зрителя внутри здания, будто составляя сложный запутанный сценарий. Сипкин П.А. в своей кандидатской диссертации «Творческая концепция Рема Колхаса. Представление, модели, воплощение» сравнивает его с С.М. Эйзенштейном, отмечая что «...в сценарии необходимо связывать различные эпизоды вместе, генерировать напряжение и собирать вещи через монтаж. Точно то же самое происходит в архитектуре. Архитекторы также собирают пространственные эпизоды, чтобы создать последовательности…».

**Декорации – архитектурные и дизайнерские объекты**

Кевин Линч в книге «Образ города» (М.: Стройиздат, 1982) говорит о таком понятии как «legibility» – «читаемость» городского пространства. Этот показатель определяется тем, насколько доступна (читаема) для человека связность элементов в городском ландшафте, которая выстраивает целостную и осмысленную картину мира. Считывание смысла

становится органичным и удобным тогда, когда город организован не только как физический объект и геометрическое пространство, а учитывается перспектива его восприятия человеком в качестве среды составляющей часть жизненного мира общества.

По словам Вахштайна, место – это своеобразное сообщение, передаваемое не вывеской, но атрибутами – оформлением и материальным наполнением. Малые архитектурные формы, банкоматы, витрины говорят о «возможностях» использования их. Наличие уличной мебели и других элементов тактического урбанизма выстраивает сценарии возможного взаимодействия с ними. Создавая наилучшие условия для пребывания посетителей внутри этого места, они качественно повышают организацию пространства [7].

**Зрители и актеры – пользователи пространств**

Создание городского пространства, поддерживающего постоянный контакт с современным пользователем и соответствующего его запросам, на сегодняшний день невозможно без привлечения социологов, антропологов и культурологов. Социолог нужен не для количественной, но для качественной информации о потребителе (его чувствах, действиях). На самом первом этапе, когда идет сбор аналитической информации и составление портрета будущего пользователя, именно специалисты этой области помогают предоставить точные данные, а также рассказать по каким основным сценариям действует территория. Социологи настаивают на том, что вопрос этики архитектурной среды более весомый, чем его эстетическая или функциональная сторона. «Делать пространство, которое только функциональное или просто красивое – это уже недостаточно, это вчерашний день» – утверждает Олег Паченков в интервью для образовательной программы «Архитекторы.рф». По его словам, подобное место должно также обслуживать социальные процессы, за которыми скрываются правильные ценности.

Американские урбанисты Уильям Холли Уайт и Фред Кент приходят к заключению, что пространство в городе активизируется, наполняется жизнью тогда, когда оно привлекает к себе горожан, и чем больше людей, тем большее количество постепенно его наполняет. И наоборот, место становится «мертвым», будучи опустошенным. На такой территории развивается криминогенная обстановка, потому что на ней отсутствуют люди, которые непроизвольно координируют поведение друг друга, примеряя на себя роли наблюдателей/наблюдающих [8, 9].

Для того чтобы новое для горожан общественное пространство было наполнено пользователями, необходимо изучить поведение тех людей, которые проживают поблизости этой территории. Результаты наблюдений могут быть представлены в виде графиков активности и карт, где указаны популярные маршруты (наиболее используемые транзитные пути) и отмечены места, в которых чаще всего останавливаются. Данные схемы в дальнейшем помогут проектировщикам создать востребованное пространство [10].

**Сюжет – культурная топография территории**

Сюжет развития города заложен в его культурной топографии. Пространство способно вызывать образы в мыслях человека. Популяризированный образ (например, таких мегаполисов как Москва или Лондон) в произведениях литературы и кино привлекает больший интерес к территории. При описании мест, авторы наделяют их своими смыслами – во многом субъективными – и потому встречаются различные интерпретации одного и того же пространства. Вместе эти варианты складываются в единую плоскость, отражающую город, наполненный образами популярной культуры, и сквозь которую воспринимают место горожане и туристы. Наибольшее влияние на визуальное считывание пространства оказывают, свершившиеся в нем, исторические события и другие социально-экономические, научно-технические, социокультурные, художественно-стилевые, общественно-политические и философско-теоретические факторы, которые и создали существующее оформление города [11]. Локусы с богатой историей способны наращивать свой культурный капитал за счет обращения деятелей искусства к местным мифам (преданиям) и через воспоминания вышеуказанных событий.

Парадоксален тот факт, что современная элитарная культура включает в себя объекты бывшей когда-то массовой культуры, поэтому не стоит радикально отвергать ее значимость для общества. Но вместе с тем, в среду, окружающую человека изо дня в

день, можно было бы вводить элементы высокой культуры, что способствовало бы духовному развитию человека и сделало его более раскрепощенным в плане восприимчивости современного искусства [12].

**Сценарий – проектирование исходя из запланированного действия**

Архитектурное проектирование в основном ориентировано на людей, жизнь которых динамична и непрерывно меняется. Следовательно, традиционные методологии проектирования, которые создают статические объекты с ограниченным набором функций, не всегда представляют собой подходящий метод создания удобных для пользователей архитектурных пространств. Один из способов помочь проектировщику представить будущую форму, функцию и производительность объекта – установить различные ключевые сценарии будущего использования. В рамках архитектурного проектирования сценарий определяется как динамический срез будущего жизненного цикла созданного пространства. Анализ возможных будущих модификаций может служить обоснованием для определения того, какие варианты проектирования следует использовать, а какие отвергать. Таким образом, сценарии – это последовательные представления, которые могут помочь заполнить пробелы в анализе того, как здания функционируют, растут, меняются и мотивируют взаимодействие пользователей с ними в течение их жизненного цикла [13].

**Заключение**

Архитектура, как область творческой деятельности, всегда находилась во взаимодействии с различными видами искусств. Задача архитектора-проектировщика, которого волнует развитие города и его влияние на общество, состоит в том, чтобы создавать среду, увеличивающую культурный капитал местности. Спроектировать такое пространство можно с помощью включения в него образов, которые в свою очередь формируют коллективную идентичность.

Рассмотрев работы «бумажных архитекторов», можно заметить тот факт, что их концептуальные проекты создавались не ради «картинки», а из идеи конструирования пространства для человека, качественно улучшающего его культурную жизнь. Концепции, сформированные при помощи слияния живописи, музыки, театра наделяют архитектуру «душой» и делают ее более близкой к человеку.

В городе-театре основная сцена общественной культуры – это общественные пространства. Организация их методами сценографии: с использованием элементов, не засоряющих визуальное восприятие, а только тех, что выполняют свои функции, с выстраиванием сценария развития места и наличием контекстуального содержания, о которых рассказывают присутствующие образы, может быть ответом тому, как создать среду, доставляющую человеку не только ощущение комфорта, но и развивающую его внутреннюю культуру.

**Список библиографических ссылок**

1. Ковальчук Е. От театрально-декорационного искусства к сценографии // МІСТ: Мистецтво, історія, сучасність, теорія. 2014. № 10 (11). С. 120–144.
2. Блохина А. С. Театральный конструктивизм, или начало функциональной сценографии : сб. ст. Международной научно-технической конференции (7 мая 2018 г, г. Тюмень) / ООО «ОМЕГА САЙНС». Уфа, 2018. С. 145–148.
3. Громов. Н. Н. Элементы сценического творчества в педагогике Баухауза // Известия Уральского государственного университета. Сер. 2. Гуманитарные науки. 2009. № 3 (65). С. 29–34.
4. Аввакумов Ю. И. Бумажная архитектура. Антология. М. : Гараж, 2019. 374 с.
5. Лесневска Р. В., Капустин П. В. Поиски средств индивидуации архитектурной среды: событийность и театрализация в концепциях 1960-70-х годов // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2015. № 2 (38). С. 111–121.
6. Гройс Б. Публичное пространство: от пустоты к парадоксу. М. : Strelka Press, 2012. 20 с.

7. White Y. H. Social life of small urban spaces. N-Y. : Project for Public Spaces Inc, 1980. 126 p.
8. Project Public Spaces. Placemaking. N-Y. : Project for Public Spaces Inc, 2018. 24 p.
9. Jan Gehl, Birgitte Svarre. How to Study Public Life. Washington : Island Press, 2013. 200 p.
10. Михайлов С. М., Михайлова А. С., Надыршин Н. М. Дизайн города: этапы исторического развития // Вестник ОГУ. 2014. № 5 (166). С. 4–9.
11. Савкина И., Розенхольм А. Топографии популярной культуры: Сборник статей. М. : Новое литературное обозрение, 2015. 408 с.
12. Buthayna Eilout. Scenario-based design: New applications in metamorphic architecture // Frontiers of Architectural Research. 2018. № 4 (7). P. 530–543.

**Lotfullina Alina Rustamovna**
architect
E-mail: linalotfullina22@gmail.com
**LLC «Axiom Architect»**
The organization address: 420103, Russia, Kazan, st. F. Amirkhan, d. 14b
**Krasnobaev Ivan Vasilievich**
candidate of architecture, associate professor
E-mail: tia.kgasu@gmail.com
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## On the question of the mutual influence of architectural design and stage design

**Abstract**

*Problem statement.* This article describes the processes by which the interaction of architectural design and stage design art takes place. The purpose of the study is to determine whether the methods of artistic design of theatrical productions are capable of finding their application in the organization of the urban architectural environment. The authors set the following tasks: 1) to study the history and chronology of the development of theatrical art and set design; 2) to analyze how the contact between the theater and architecture occurs: review the work of architects and set designers, study the activities of creative groups that used methods of merging various spheres of arts (including architecture and theater) in creating their works, and find out whether the study of architecture in obtaining stage education and vice versa; 3) to reveal whether the architectural space, organized as a stage space, by scenographic approaches, can have a positive impact on the cultural development of users.

*Results.* The main results of the research consist in determining the quality of the mutual influence of architecture and set design.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the architecture consists in the discovery that such an approach can positively influence the development of architecture and create spaces that increase the cultural level of society.

**Keywords**: architecture, set design, theater, art, stage.

## References

1. Kovalchuk E. From theatrical-decorative art to scenography // MIST: Mystetstvo, History, Contemporary, Theory. 2014. № 10 (11). P. 120–144.
2. Blokhina A. S. Theatrical constructivism, or the beginning of functional scenography: dig. of art. International scientific and technical conference (May 7, 2018, Tyumen) / LLC «OMEGA SCIENCE». Ufa, 2018. P. 145–148.
3. Gromov N. N. Elements of stage creativity in the pedagogy of Bauhaus // Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 2. Gumanitarnyye nauki. 2009. № 3 (65). P. 29–34.

4. Avvakumov Yu. I. Paper architecture. Anthology. M. : Garage, 2019. 374 p.
5. Lesnevska R. V., Kapustin P. V. The search for the means of individuation of the architectural environment: events and theatricalization in the concepts of the 1960$^{s}$ and 70$^{s}$ // Nauchnyy vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2015. № 2 (38). P. 111–121.
6. Groys B. Public space: from emptiness to paradox. M. : Strelka Press, 2012. 20 p.
7. White Y. H. Social life of small urban spaces. N-Y. : Project for Public Spaces Inc, 1980. 126 p.
8. Pps. Placemaking. N-Y. : Project for Public Spaces Inc, 2018. 24 p.
9. Jan Gehl, Birgitte Svarre. How to Study Public Life. Washington : Island Press, 2013. 200 p.
10. Mikhailov S. M., Mikhailova A. S., Nadyrshin N. M. City Design: stages of historical development // Vestnik OGU. 2014. № 5 (166). P. 4–9.
11. Savkina I., Rosenholm A. Topography of popular culture: Digest of articles. M. : Novoye literaturnoye obozreniye, 2015. 408 p.
12. Buthayna Eilout. Scenario-based design: New applications in metamorphic architecture // Frontiers of Architectural Research. 2018. № 4 (7). P. 530–543.

УДК 72.035.1
**Низамов Рашит Курбангалиевич**
доктор технических наук, профессор
E-mail: nizamov@kgasu.ru
**Попов Антон Олегович**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: a.o.popov@yandex.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

# Градостроительное развитие территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург в период с 1734 по 1812 гг.

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Застройка территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства в период с 1734 по 1812 гг. представляет особый интерес. В этот период времени формируется трехлучевая планировочная схема г. Санкт-Петербурга.

*Результаты.* Результатом исследования авторов является детальное раскрытие градостроительной ситуации и застройки территории, хронологии эксплуатации Адмиралтейской крепости, застройки ее территории и отдельных архитектурных и конструктивных элементов.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в проведении авторами систематизации архивных материалов, в выделении ключевых этапов, связанных с застройкой территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства и в приведении ранее неизвестных данных о застройке и эксплуатации территории.

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

## Введение

Застройка территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург в период с 1734 по 1812 гг. тесно связана с интенсивной стадией развития города. Обозначенный период связан с многократным преобразованием города при принципиальной стабилизации планировочных характеристик городского каркаса. Во многом комплекс зданий Главного Адмиралтейства связан с планировочной структурой города.

## Застройка территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства 1734-1753 гг.

Впервые центральная башня со шпилем обозначена на голландской карте 1734 г. [1], где ее топографическое положение совпадает с центральным бастионом. Проект башни был разработан архитектором И.К. Коробовым.

Реализация проекта Коробова являлась исполнением указа императрицы Анны Иоановны от 1732 г., где решено было: «...Адмиралтейскую башню, на которой шпиц (понеже оная со второго апартамента мазанковая и весьма пошатилась), за ветхостью ныне немедленно разобрать и для прочности сделать вновь всю каменную и шпиц поставить».

Известно, что здание Адмиралтейства неоднократно перестраивалось, при этом шпиль Ван Болеса сохранялся [2], так как он стал одним из символов Петербурга.

В 1738 году работала «Комиссия о Санкт-Петербургском строении» под руководством П.М. Еропкина. В работе данной комиссии участвовали М.Г. Земцов и И.К. Коробов. Результатом работы комиссии был четко сформулированный генеральный план города. На генеральном плане г. Санкт-Петербург того периода была решена задача устройства широких улиц и проспектов, где Адмиралтейству была отдана градообразующую роль.

Карта 1734 года, взятая за основу историко-краеведческих исследований, внесла большое противоречие в то, что возведена Центральная башня Адмиралтейства на месте Центрального бастиона. Авторы настоящей работы считают нанесение Центральной

башни на карте 1734 г. (рис. 1) весьма условным в связи с тем, что Башня И.К. Коробова была детально показана на карте 1753 г. [3] топографически в ином месте, и одновременно перед ней существовал деревоземляной бастион (рис. 2). Кроме того показано, что въезд на территорию Адмиралтейских верфей был через юго-восточный люнет центрального бастиона (рис. 1), последнее противоречит, как более ранним, так и более поздним картам. Необходимо также отметить, что на плане Санкт-Петербурга 1753 г. впервые показан Невский проспект, который лучом стремится к центральной башне, ныне это направление несколько изменено, однако обзор также открыт.

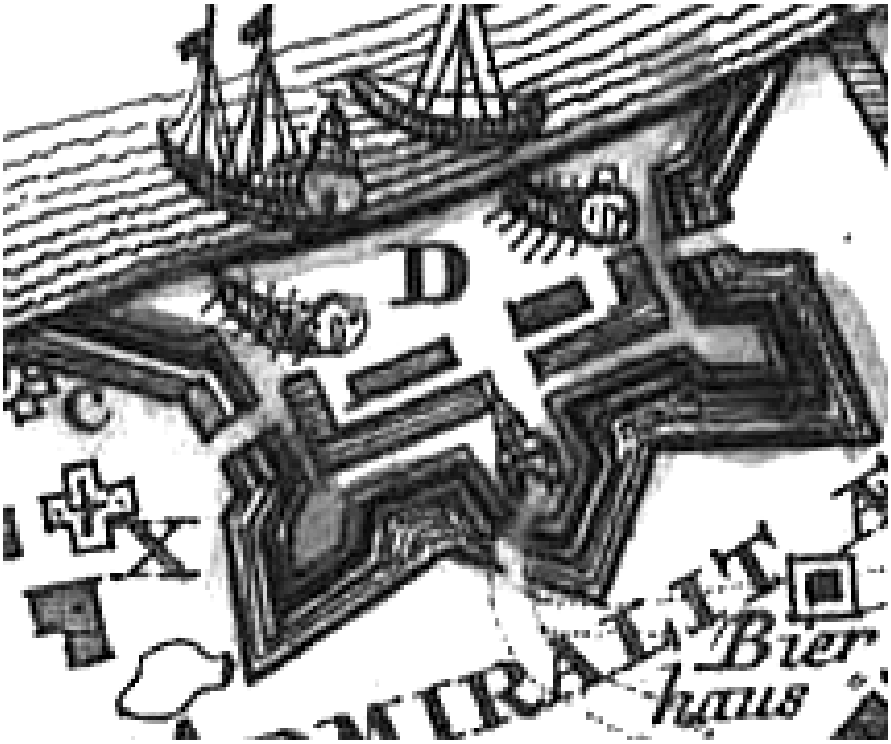



Рис. 1. Фрагмент исторической карты г. Санкт-Петербурга 1734 г. [1]

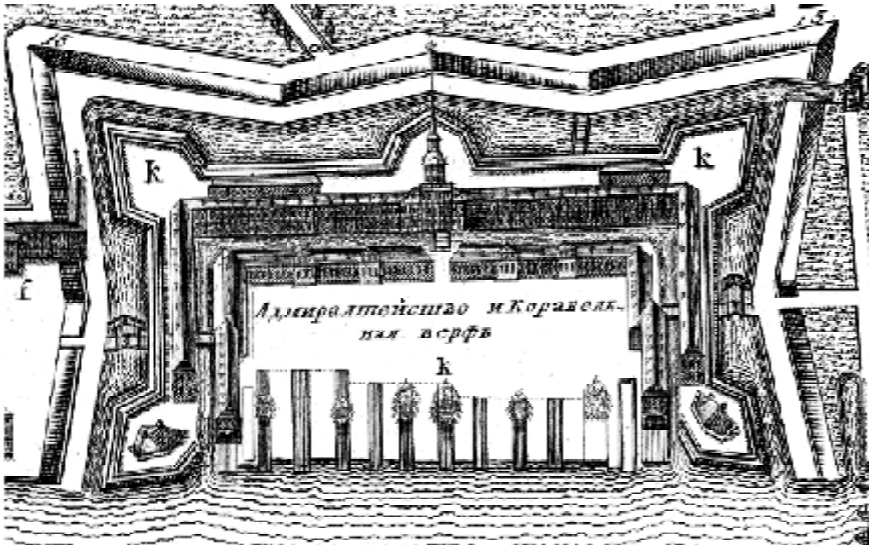



Рис. 2. Изображения здания Главного Адмиралтейства на плане г. Санкт-Петербурга 1753 г. [3]

Детально Здание Главного Адмиралтейства показано на иконографии (рис. 2), что подтверждает предположения авторов, там показано, что въезд с южной стороны проходит через куртины. На макете одновременно существуют и центральный бастион и центральная Башня здания Главного Адмиралтейства. Кроме того на иконографии Качалова А.Г. (рис. 3) показаны каналы отделяющие адмиралтейство от сухопутной части города. Эти каналы имеют подпитку из р. Невы, как с восточной, так и с западной стороны, кроме того с восточной стороны крепостной ров объединен Адмиралтейским каналом с р. Мойкой. Ныне сохранилась лишь часть Адмиралтейского канала, а на его месте располагается Конногвардейский бульвар.

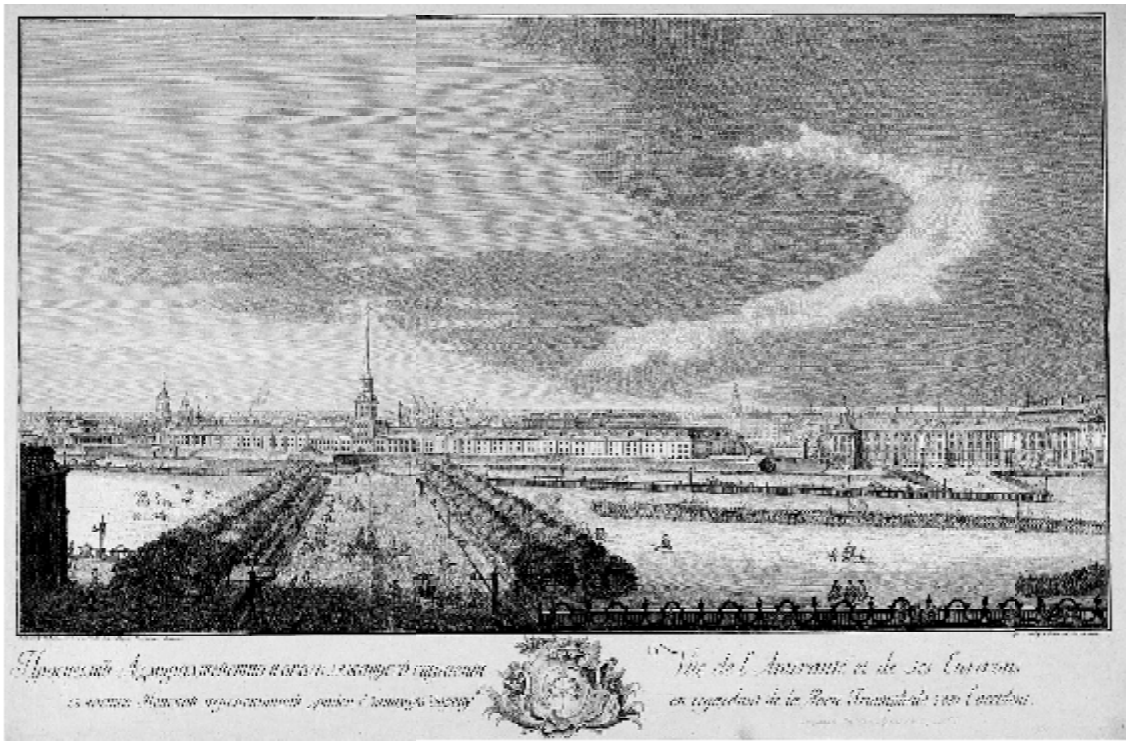


Рис. 3. Иконография (художник Качалов А.Г.) [4]

Повелением императрицы Елизаветы Петровны пространство внутри центральной Башни здания Главного Адмиралтейства заняла церковь Воскресения Христова. Обустройством храма в период с 1747 по 1755 гг. руководил архитектор С.И. Чевакинский, а роспись стен была выполнена М.А. Башмаковым. В этот же период на центральной башне здания Главного Адмиралтейства появился колокол.

**Застройка территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства 1733-1812 гг.**

Пожар, возникший 13 мая 1783 года на производственных площадях Адмиралтейских верфей, был настолько сильным, что чуть не перекинулся на Зимний дворец, однако трагедии не произошло. Из-за этого инцидента императрица Екатерина II хотела перенести Адмиралтейские верфи из центральной части города, однако перенос производства оказался экономически нецелесообразным.

Адмиралтейский канал засыпался постепенно так 1804 г. [6] был засыпан фрагмент канала расположенный зоне Сенатской площади (рис. 4). Этот план примечателен появлением уже сформированной Гороховой улицы, которая центральным лучам ведет к зданию Главного Адмиралтейства. В градостроительном положении эта улица находится в первозданном положении.

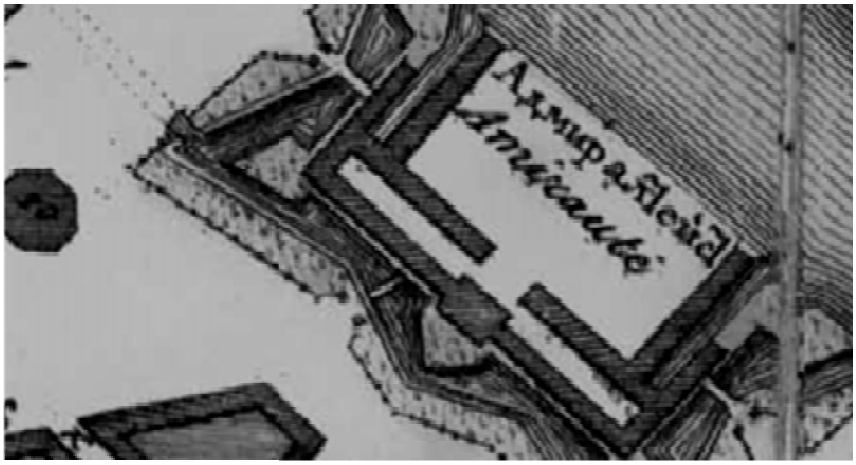



Рис. 4. Фрагмент плана г. Санкт-Петербурга 1804 г. [6]

Деревоземляные бастионы существовали вплоть до 1805 г. (рис. 5), и показаны на карте (рис. 6). На этой карте впервые показаны зеленые насаждения, устроенные по периметру Адмиралтейства с южной стороны, совпадающие с ныне существующим Александровским садом с южной и западной стороны, и с дворцовым проездом – по восточной стороне.

Рис. 5. Иконография (Адмиралтейство вид с р. Невы) [7]

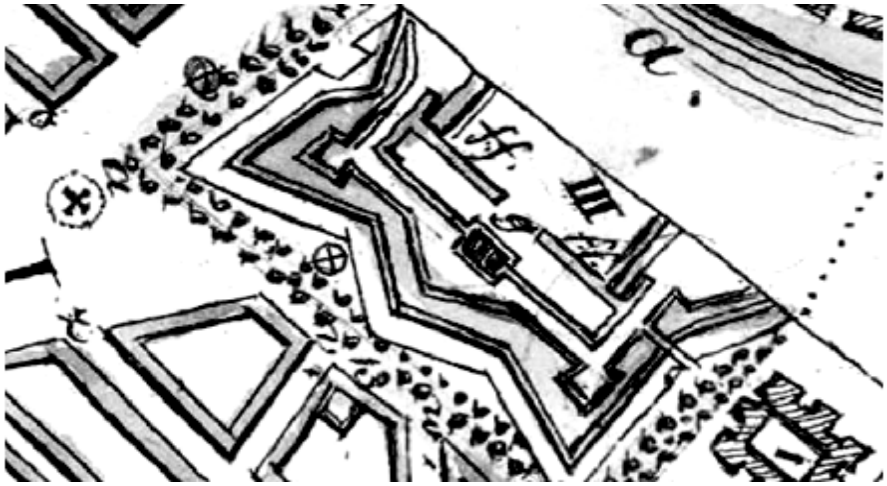


Рис. 6. Фрагмент карты Питермана 1805 г. [8]

На карте Питермана 1805 г. (рис. 6) показан въезд через один перекидной мост с восточной стороны (ныне Дворцовый проезд). Крепостной ров показан, а заполнение крепостного рва осуществляется лишь со стороны Дворцовой площади.

К 1808 г., согласно плану Гавриила Сарычева [9], крепостной ров вовсе не имеет подпитки, как со стороны большой Невы, так и со стороны проток и каналов (рис. 7).

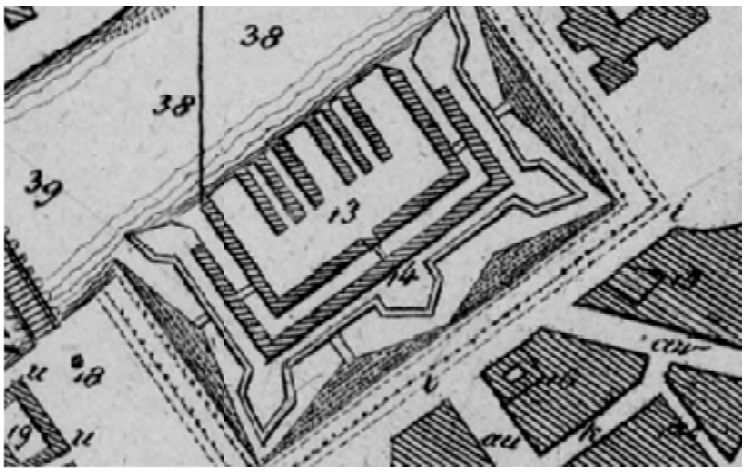



Рис. 7. Фрагмент карты Гавриила Сарычева 1808 г. [9]

Примечательным является градостроительный план г. Санкт-Петербурга 1810 г. [9], составленный Савинковым (рис. 8), где впервые схематично показаны внутридворовые постройки Адмиралтейской крепости, топографически полностью совпадающие с расположением ныне существующих построек, за исключением восточного и западного павильонов, которые являются наиболее поздними строениями.

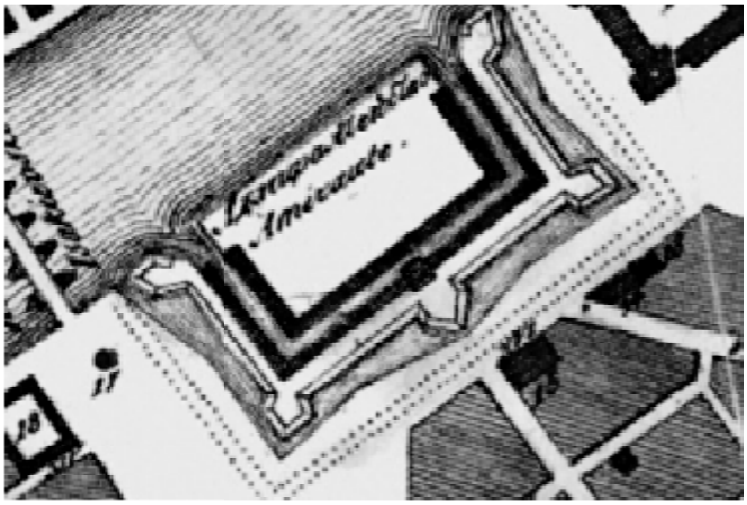


Рис. 8. План г. С.-Петербурга издания Савинкова на русском и французском языках 1810 г. [9]

Восточный и западный павильоны – наиболее поздние постройки комплекса зданий Главного Адмиралтейства. Эти постройки появляются на топографических планах и иконографиях в более поздний период.

К 1812 г. крепостной ров был засыпан, а на его месте разбит Александровский сад, который существует и ныне. Примечательно, что на плане 1812 г. (рис. 9) внутридворовое пространство здания Главного Адмиралтейства заполнено водами р. Нева во время наводнения 1812 г., которое скажем, не являлось столь катастрофичным как наводнение 1824 г. Этот план примечателен появлением Вознесенского бульвара, который третьим лучом сходится к зданию главного Адмиралтейства [10].

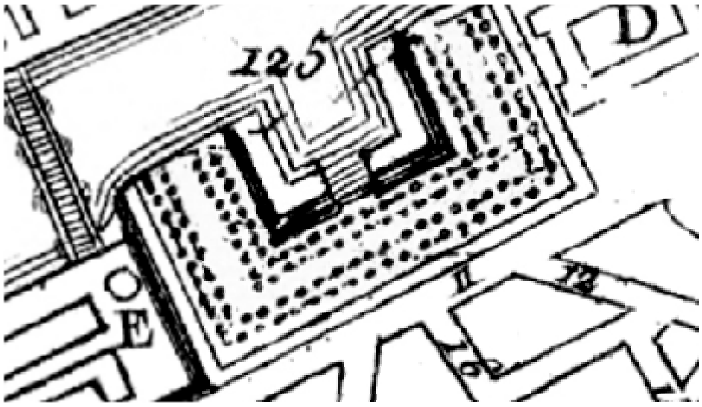



Рис. 9. Фрагмент плана Санкт-Петербурга 1812 г. [10]

**Заключение**

В настоящей работе собраны и систематизированы материалы, связанные с застройкой территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства, в период с 1734 по 1812 гг. Проведен анализ застройки территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства, тесно связанных с застройкой г. Санкт-Петербург. Комплекса зданий Главного Адмиралтейства во многом является отправной точкой для развития города [11], как высотной доминантой, так и отправной точкой трехлучевой системы застройки города.

**Список библиографических ссылок**

1. Kaart van St. Petersburg in 1734. Reiner Van Attensa // 1734 г.
2. Путеводитель по г. Санкт-Петербургу. Адмиралтейство – истории и фотографии // URL: https://walkspb.ru/zd/admiral.html (дата обращения: 12.09.2019).
3. Карта Санкт-Петербурга 1753 года. План Трускотта или Махаевский план Санкт-Петербурга // 1753 г.
4. Иконография – художник Качалов А. Г.
5. Карта Санкт-Петербурга 1804 г. План Савинкова // 1804 г.
6. Соловьёва Т. А. Адмиралтейская набережная. СПб. : Крига, 2007. 176 с.
7. Сашонко В. Н. Адмиралтейство. Л. : Лениздат, 1982. 126 с.
8. Map of St. Petersburg 1805. Plan Peterman // 1805.
9. Карта Санкт-Петербурга 1812г. // 1812 г.
10. Lavrov L. P., Sementsov S. V. Globalization in architecture: three examples from Saint Petersburg // World applied sciences journal. 2013. № 13. P. 25–30.
11. Надырова Х. Г. Современный подход к преподаванию историко-архитектурных дисциплин // Дизайн-ревю. 2014. № 1. С. 68–73.

**Nizamov Rashit Kurbangalievich**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: Nizamov@kgasu.ru
**Popov Anton Olegovich**
candidate of technical sciences
E-mail: a.o.popov@yandex.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## Town-planning development of the territory of the Main Admiralty building complex in Saint Petersburg of the period from 1734 to 1812

**Abstract**

*Problem statement.* The development of the Admiralty building complex in the period from 1734 to 1812 is of particular interest. During this period of time a three-beam planning scheme of St. Petersburg was formed.

*Results.* The result of the authors' research is a detailed disclosure of the urban situation and development of the territory, the chronology of the Admiralty fortress operation, the development of its territory and individual architectural and structural elements.

*Conclusions.* The authors conducted a systematization of archival materials that highlighted the key stages associated with development within the complex of buildings of the Main Admiralty provided previously unknown information about the building and operation areas.

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

### References

1. Kaart van St. Petersburg in 1734. Reiner Van Attensa // 1734.
2. Guide to St. Petersburg. The Admiralty – stories and photos // URL: https://walkspb.ru/zd/admiral.html (reference date: 12.09.2019).
3. Map of St. Petersburg 1753. The plan of Truscott or Makhaevski plan of St. Petersburg // 1753.
4. Iconography – the artist Kachalov A. G.
5. Map of St. Petersburg 1804. Savinkov Plan // 1804.
6. Solov'eva T. A. Admiralty embankment. SPb. : Kriga, 2007. 176 p.
7. Sashonko V. N. The Admiralty. L. : Lenizdat, 1982. 126 p.
8. Map of St. Petersburg 1805. Plan Peterman // 1805.
9. Map of St. Petersburg 1812 // 1812.
10. Lavrov L. P., Sementsov S. V. Globalization in architecture: three examples from Saint Petersburg // World applied sciences journal. 2013. № 13. P. 25–30.
11. Nadyrova Kh. G. Modern approach to the teaching of historical and architectural subjects // Design Revue. 2014. № 1. P. 68–73.

УДК 72.035.1
**Низамов Рашит Курбангалиевич**
доктор технических наук, профессор
E-mail: nizamov@kgasu.ru
**Попов Антон Олегович**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: a.o.popov@yandex.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
**Матвеев Игорь Юрьевич**
кандидат экономических наук, директор
E-mail: matigur@mail.ru
**ООО «ЦТСС «ЭкспертПроектСтрой»»**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 54а

# Дом «Михляева-Дряблова». О Петре I, Казани и здании

**Аннотация**

*Постановка задачи*. В Белом зале Библиотеки им. В.В. Маяковского в г. Санкт-Петербург 30 октября 2015 г. состоялась презентация книги «Дома и домики Петра I» [1]. Книгу представляли кандидат исторических наук, начальник энциклопедического отдела филологического факультета СПбГУ В.В. Яковлев и архитектор Г.В. Михайлов, к которым авторы настоящей работы испытывают искреннее уважение. Однако в связи с масштабностью издания, а оно охватывает историю домов и домиков Петра I в различных городах Европы и России, связанную с жизнью и деятельностью императора, повествование о казанском пребывании было упущено.

*Результаты*. Результатом работы авторов являются, ранее неизвестные широкой общественности, данные о техническом состоянии отдельных элементов уникального для Казани и РТ здания, сохранение которого является технически сложной задачей.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что в настоящей статье авторами на основе инженерно-технического и историко-культурного исследования [2-4] раскрываются этапы изменения архитектурного облика этого уникального здания для г. Казани и Республики Татарстан.

**Ключевые слова:** памятники истории и культуры, инженерная реставрация, реконструкция, конструктивные решения.

## Введение

Дом Михляева-Дряблого является одним из наиболее известных памятников гражданской архитектуры г. Казани и Республики Татарстан. Здание является объектом культурного наследия регионального (республиканского) значения, кроме того «Дом Михляева-Дряблова ценен как место пребывания во время остановки Императора Петра I в г. Казани в 1722 г. Считается, что именно в этом здании Петр I отпраздновал свое 50-ти летие.

## Ситуационное и геоморфологическое положение здания

В административном отношении здание находится с северо-западной стороны от Петропавловского собора, а фасад его выходит на территорию фабрики ОАО «Адонис», по направлению ул. Профсоюзная. Здание представляет собой двухэтажное прямоугольное в плане здание с подвалами, имеющее одно- и двухэтажные пристрои, расположенное на склоне между ул. Профсоюзная и ул. Кремлевская, на территории фабрики ОАО «Адонис». В связи с тем, что здание расположено на склоне со стороны ул. Профсоюзной (рис. 1) надземных этажей два, а со стороны ул. Кремлевской надземный этаж один (рис. 2), который не отличается богатым убранством и, более того, практически скрыт более поздними постройками и «временными» хозяйственными постройками. Высота здания от уровня отмостки до верха карниза со стороны ул. Профсоюзная составляет 9,2 м, со стороны ул. Кремлевская – 4,6 м.

Рис. 1. Общий вид фасада в осях А/5-10 и Б/1-18 (со стороны ул. Профсоюзная) [3]

Рис. 2. Общий вид фасада в осях К/1-4 и Л/4-18
(со стороны ул. Кремлевская; фотография сделана с гульбища Петропавловского собора) [3]

В геоморфологическом отношении участок работ находится в пределах склона от I надпойменной террасы до палео террасы левобережья р. Волги, на правом борту так называемого «Казанского хребтика» – останца пород пермского возраста, разделяющего палео- и современную долины р. Волги. Борта «хребтика» осложнены несогласованным напластованием грунтов основания, ложбинами в кровле пермских пород, в плане совпадающими с поперечными улицами Чернышевского и М. Джалиля. Здание врезано в борт «хребтика», перепад высот от ул. Кремлевская до внутренней дворовой территории составляет 6,0 м. Здание имеет развитую подземную часть, и «врублено» в «Казанский хребтик», в связи с чем несет функцию подпорного сооружения (рис. 3).

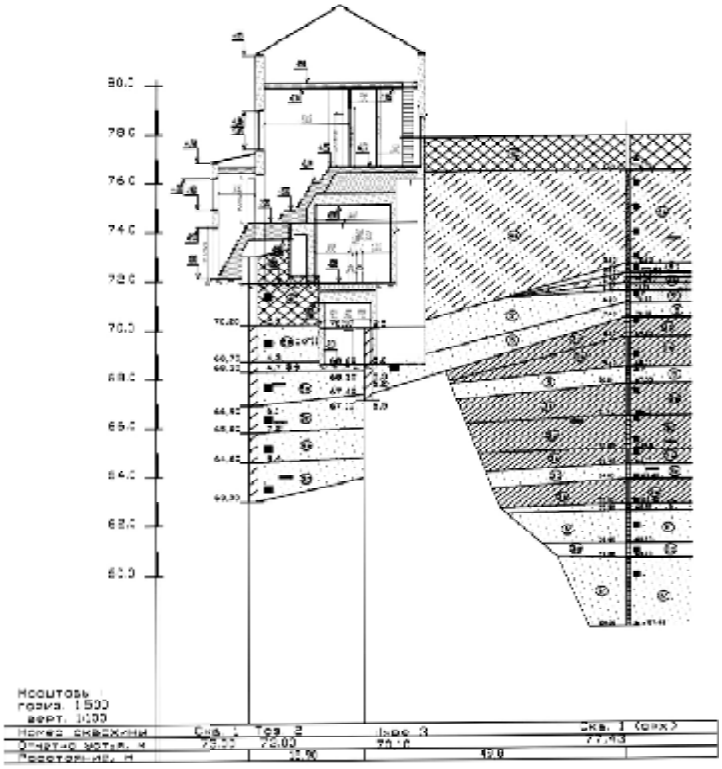


Рис. 3. Совмещенный геологический разрез и разрез по зданию [2, 3]

Согласно охранному обязательству, здание является объектом культурного наследия регионального (республиканского) значения: «Дом Михляева (Дряблова)» и является ярким примером гражданского зодчества XVII в. г. Казани, кроме того «Дом Михляева (Дряблова)» ценен как место пребывания во время остановки в Казани в 1722 году Императора Петра I [5].

**Ключевые даты и события, связанные с существованием здания**

В июне Петр I, выступивший в поход, названный впоследствии Персидским, прибыл в Казань. Город встречал царя колокольным звоном и пальбой из 13 пушек. Петр I сразу же по прибытию посетил митрополита, «оттуда был в монастыре Девичьем, где чудотворный образ Явления Казанской Богородицы. Потом был у вице-губернатора Кудрявцева» и после отправился в дом, в котором должен был проживать [6]. Это был тот самый дом, принадлежавший купцу и предпринимателю Ивану Афанасьевичу Михляеву. За время своего пребывания царь осмотрел городские учреждения, губернскую канцелярию, татарскую слободу, суконные и кожевенные фабрики. Находя недостатки в работе, царь гневался и жестоко наказывал тех, кто не исполнял его указы. Основное же свое внимание он уделил Адмиралтейству. Казанское Адмиралтейство было создано по указу Петра I в 1718 году. Выбор в пользу Казани был неслучайным, ведь в ее окрестностях было много лесов, богатых корабельными соснами, да и в строительстве морских и речных судов у казанских мастеров был немалый опыт. По некоторым данным именно в Казани Петр I отметил свое пятидесятилетие. В честь пребывания царя купец Михляев обещал построить храм, и в 1726 году Петропавловский Собор был освящен.

После смерти И. Михляева в 1728 году дом перешел в собственность его жены, а затем её брата – Федора Дряблова, чебоксарского купца. Более 20 лет домом владел сын Федора – Иван Дряблов, который перед смертью в 1774 году, желая сохранить здание для потомков, передал его городской управе. Во второй половине XVIII столетия в нем размещалось дворянское собрание [7]. В дальнейшем городская управа устроила здесь сначала богадельню, а затем и вовсе стала сдавать помещения в аренду. В 1816 г. дом был передан Казанскому городскому обществу и использовался под харчевню, в 1833 г. – под гостиницу, в 1840 г. – под трактир, затем – под чайную. Основываясь на сведениях Н.

Загоскин [8] с начала XIX века здание находится в запустении, так как оно, составляя собственность городского общества, отдается в наем под чайную и должного присмотра не имеет. Н. Загоскин [8], негодуя из-за такой небрежности к памятнику старины, в 1905 г. называет это «историческим кощунством». После 1917 г. знание также находится в казенном подчинении и переходит от одной организации к другой, последним его назначением является административно-бытовой корпус швейной фабрики «Адонис». Хочется отметить, что с 1905 г. кощунственное отношение к зданию только усугублялось.

**Данные, полученные по результатам инженерно-технических и историко-культурных изысканий**

Здание многократно перестраивалось, при этом на каждом этапе прирастало объемами, в связи с этим ведут и многочисленные споры о датировке изначального строительства. Историк Казанского края Н. Загоскин [8] относил этот дом ко второй половине XVI века, указывая на писцовую книгу, в которой имеется упоминание «о светлице княжеской выездной», находящейся вблизи старой Петропавловской церкви. А Н.Я. Агафонов [9] считал Михляевский дом постройкой XVII века и говорил, что «сильные пожары не повредили этого здания, так как оно лишь обгорало и, благодаря этой счастливой случайности, дом сохранил свою внешнюю орнаментуру».

Авторов настоящей публикации в значительной степени заинтересовал этот вопрос, и именно по этой причине при проведении инженерных и историко-культурных изысканий [3, 4], он был поставлен одним из основных в перечне задач исследования.

При проведении обмерных работ были выстроены поэтажные планы и разрезы с обязательной привязкой, как наружных, так и внутренних ключевых точек (углов помещений, стен, перекрытий и т.д.) с использованием высокоточных геодезических средств измерений, позволивший выявить ряд ключевых моментов, которые не были выявлены в рамках ранее проведенных работ другими исследователями.

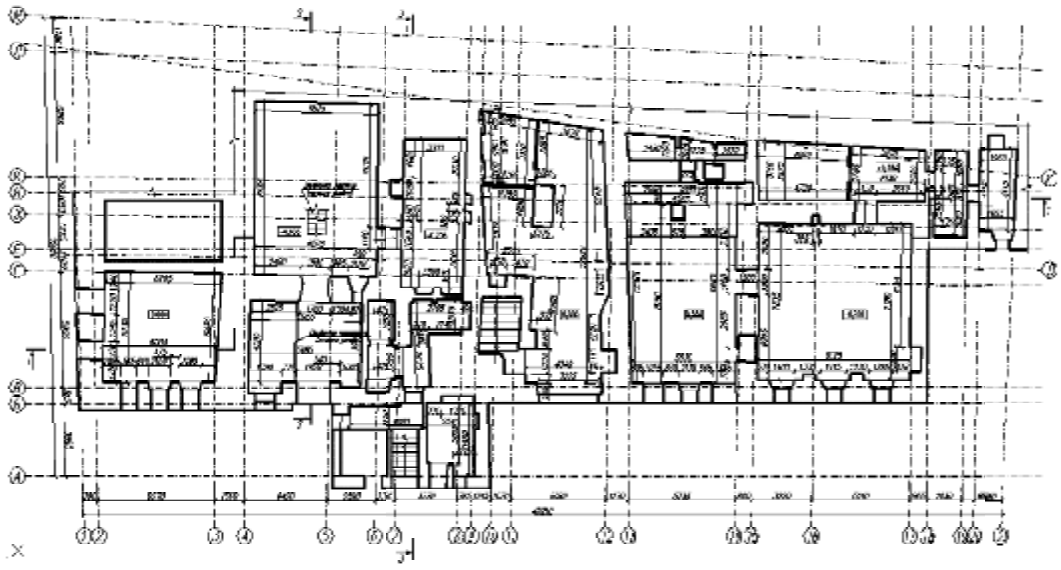


Рис. 4. Схематичный план первого этажа [3, 4]

Первый этаж – высокая сводчатая подклеть, служившая для хозяйственных целей. Детальное рассмотрение плана первого этажа (рис. 4) позволяет заключить, что практически все плоскости стен, даже в прилегающих друг к другу помещениях, не параллельны друг другу, но, несмотря на это, стены каждого из помещений образуют прямые углы. Трудно представить, что зодчие того периода, устраивая усадьбу богатейшего купца Казанской Губернии, могли допустить и как-то объяснить, столь нелепую даже для подклетных помещений, планировку и геометрическую несогласованность. Этот факт позволяет заключить, что здание не прирастало объемами относительно единого начала, а было инкорпорировано из нескольких ранее отдельно

стоящих зданий или сооружений, объединенных общим фасадом. Последнее подтверждает образ купца Михляева, которого описывают как человека в значительной степени прагматичного, выстроившего из ранее разрозненных хозяйственных построек уникальную для того времени усадьбу. Так, в представленном ансамбле можно в явном виде выделить «разрозненные объемы», расположенные в осях 1-4/Б-И, 4-9/Б-Л, 10-13/Б-Л, 13-14Б-Л, 15-18/Б-Л и А-Б/5-10.Объединение отдельно стоящих зданий по главному фасаду осуществлялось прикладом кирпичной кладки в пол кирпича с забутовкой, в связи с чем, толщина наружных стен также стала различной.

Массивность первого этажа получена простотой его фасада: нерегулярным ритмом пилястр, оконных и дверных проемов, устроенных без орнаментур и сандриков. Завершается фасад первого этажа карнизом из кирпичных «городков», поверх которого протянут узкий «поясок» кирпичной кладки в «ребро». Межэтажный карниз и вышерасположенный поясок, в зависимости от места расположения, имеют схожие черты, однако геометрически не одинаковы (рис. 5).

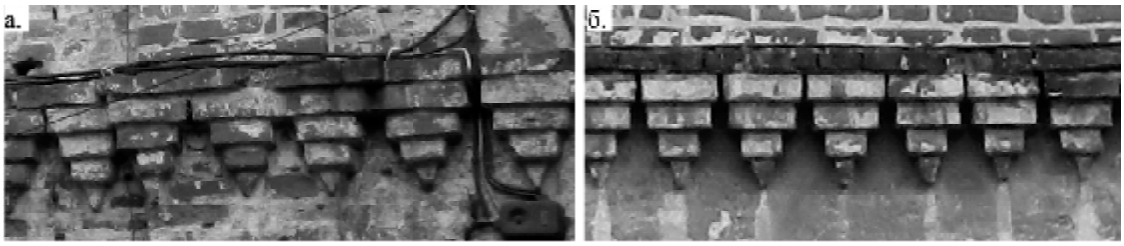



Рис. 5. Декоративный межэтажный поясок: а. в осях Б/1-5; б. в осях Б/10-18 [4]

Второй этаж (рис. 6) имеет схожее членение объединенных объемов, однако это не позволяет заключить, что между собой объединялись двухэтажные здания, вероятнее всего двухэтажными изначально были помещения в осях 1-4/Б-Л и 12-18/Б-Л. Этот этаж был занят жилыми помещениями.

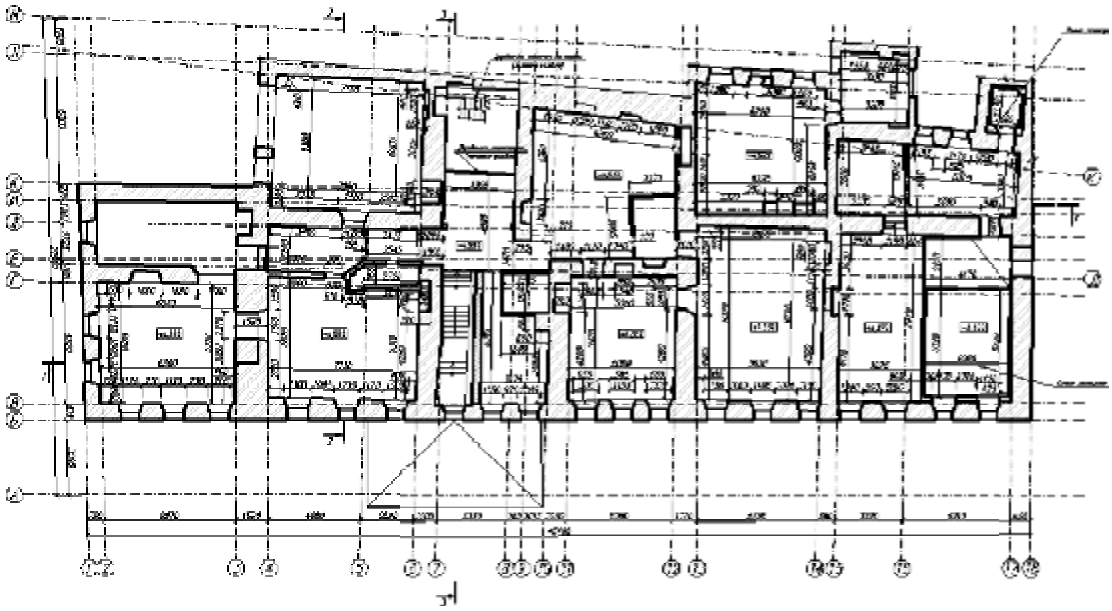


Рис. 6. Схематичный план второго этажа [3, 4]

Фасад в уровне второго этажа отделан более богато. Особенно это видно в богатом исполнении карниза и оконных проемов. Венчающий карниз, в зависимости от места расположения, выполнен с отличительными особенностями. В осях 1-7/Б – это резные

более вытянутые барочные элементы (рис. 7а), а в осях 10-18/Б – это зубчатые городки, простой геометрии (рис. 7б), сходные по форме с элементами межэтажного пояска, однако, не имеющие над карнизного пояса.

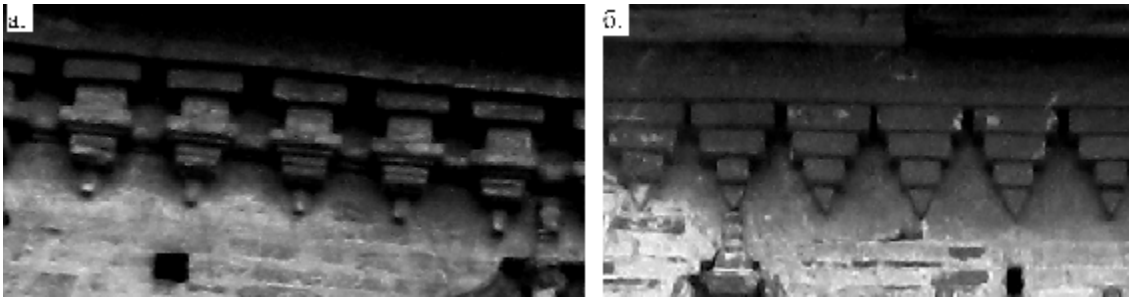



Рис. 7. Декоративный карниз: а. в осях 1-7/Б; б. в осях 10-18/Б [3]

Особенную стилистику зданию придают три разнохарактерных типа декоративного обрамления оконных проемов, устроенных с зонированным ритмом, представленные в виде «неполного люнета» (рис. 8а), «петушьих гребешков» (рис. 8б) и «рваного барочного сандрика с полуколоннами» (рис. 8в), которые являются характерными деталями украшений XVII в.

Рис. 8. Декоративные обрамления оконных проемов второго этажа:
а. в осях 1-3/Б и 1/Б-И; б. в осях 10-12/Б; в. в осях 4-6/Б, 13-18/Б и 18/Б-И [3]

В средней части фасада – окна без наличников, здесь размещалось крыльцо с входом со двора на второй этаж (оно было разобрано в 50-х годах XIX в.), элементы которого сохранились во внутренних помещениях, но, на момент проведения исследования, сохранилось лишь в общих архитектурных формах.

**Заключение**

Карнизы и междуэтажная многопрофильная тяга – именно по этой архитектурной форме и определено время постройки [10, 11], так как украшение карнизов с «зубчатообразной» кирпичной обработкой относятся к концу XVII в. [8]. Описанное выше носит неоднозначный характер и позволяет говорить о том, что здание имеет гораздо более длинную историю, нежели принято считать, и авторы работы склоняются к мнению Н. Загоскина [9], который считал временем постройки здания вторую половину XVI века.

**Список библиографических ссылок**

1. Яковлев В.В. Дома и домики Петра I. СПб. : Скрипториум, 2015. 124 с.
2. Попов А. О., Матвеев И. Ю., Бирюлева Д. К. Отчёт по НИР. Инв. №10/118-15п/1. Отчет об обследовании технического состояния объекта культурного наследия республиканского значения «Дом Дряблова, конец XVIIв.», расположенного по адресу: Республика Татарстан, г. Казань, ул. Джалиля, 19 // – коллективная работа ФГБОУ ВО КГАСУ и ООО ЦТСС «ЭкспертПроектСтрой». – Казань, 2015.
3. Попов А. О., Матвеев И. Ю., Бирюлева Д. К. Отчёт по НИР. Инв. №10/118-15п/2. Геологические изыскания на площадке объекта культурного наследия республиканского значения«ДомДряблова, конец XVII в.», расположенного по адресу: Республика Татарстан, г. Казань, ул. Джалиля, 19 // – коллективная работа ФГБОУ ВО КГАСУ и ООО ЦТСС «ЭкспертПроектСтрой». – Казань, 2015.
4. Матвеев И. Ю., Попов А. О., Бирюлева Д. К. Отчёт по НИР. Инв. №10/118-15п/1. Объект культурного наследия республиканского значения «ДомДряблова, конец XVII в.», расположенного по адресу: Республика Татарстан, г. Казань, ул. Джалиля, 19 // – коллективная работа ФГБОУ ВО КГАСУ и ООО ЦТСС «ЭкспертПроектСтрой». – Казань, 2015.
5. Походный журнал 1722 года. // СПб., 1855. С. 38.
6. Записные книги именных указов Петра 1 и Екатерины 1. 1704-1725 гг. // РГАДА, Ф.9. Оп. 1. Кн. 27. Ч. 2. Л. 385.
7. Дело № 45, 1816 г. // Архив Городской Думы. 171 с.
8. Загоскин Н. П. Спутник по Казани. Казань : Императорский университет, 1895. 188 с.
9. Агафонов Н. Я. Из Казанской истории. Казань : Типография И.Н. Харитонова, 1906. 236 с.
10. Надырова Х. Г. Хартия ИКОМОС и охранно-реставрационная деятельность в республике Татарстан : сб. мат. V Международной научно-практической конференции «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация / КГАСУ. Казань, 2017. С. 201–209.
11. Cevat Erder. Our architectural heritage: from consciousness to conservation / Cevat Erder. UNESCO. United Kindom, 1986. 236 p.

**Nizamov Rashit Kurbangalievich**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: nizamov@kgasu.ru
**Popov Anton Olegovich**
candidate of technical sciences
E-mail: a.o.popov@yandex.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Matveev Igor Yurievich**
candidate of economic sciences, director
E-mail: matigur@mail.ru
**LTD ZTS «EkspertProektStroy»**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Butlerova st., 54a

**House «Of Mikhlyaev-Dryablov». About Peter I, Kazan and building**

**Abstract**

*Problem statement.* In the White hall of the Library. V.V. Mayakovsky St. Petersburg October 30, 2015 the presentation of the book «Houses and houses of Peter I» [1]. The book was presented by Ph. D., head of the encyclopedic Department of the faculty of Philology of St. Petersburg state University V.V. Yakovlev and architect G.V. Mikhailov, whom the authors of this work sincerely respect. However, due to the scale of the publication, and it covers the

history of houses and cottages of Peter I in various cities of Europe and Russia, associated with the life and work of the Emperor, the story of the Kazan stay was missed.

*Results.* The result of the work of the authors are previously unknown to the General public, data on the technical condition of individual elements of a unique building for Kazan and Tatarstan, the preservation of which is technically challenging.

*Conclusions.* In this article the authors on the basis of engineering and historical and cultural research [2-4] reveal the stages of changing the architectural appearance of this unique building for Kazan and the Republic of the building.

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

## References

1. Yakovlev V. V. et al. Houses and houses of Peter I. SPb. : Scriptorium, 2015. 124 p.
2. Popov O. A., Matveev Y. I., Biruleva D. K. Scientific research reports. Inv. № 10/118-p/1. Report on inspection of a technical condition of object of a cultural heritage of Republican value «Drablow House, the end of the XVII century.», located at address: Republic Tatarstan, Kazan, St. Jalil, 19 // – collective work FGBOU VPO KSUAE and LLC CTCC «Exportproducts». – Kazan, 2015.
3. Popov O. A., Matveev Y. I., Biruleva D. K. Scientific research reports. Inv. № 10 /118-p/2. Geological surveys at the site of a cultural heritage of Republican value «HouseDrablow, the end of the XVII century», located at address: Republic Tatarstan, Kazan, St. Jalil, 19 // – collective work FGBOU VO KSUAE and LLC CTCC «Exportproducts». – Kazan, 2015.
4. Matveev I. Yu., Popov A. O., Berulava D. K. Project priority emergency activities. Inv. № 10/118-p/3. Object of cultural heritage of Republican value «Drablow House, the end of the XVII century», located at address: Republic Tatarstan, Kazan, St. Jalil, 19 // – collective work FGBOU VPO KSUAE and LLC CTCC «Exportproducts». – Kazan, 2015.
5. Hiking journal 1722 // SPb., 1855. P. 38.
6. Notebooks of personal decrees of Peter 1 and Catherine 1. 1704-1725 // RGADA, F. 9. Op. 1. kN. 27. Part 2. L. 385.
7. Case No. 45, 1816 // Archives Of The City Duma. 171 p.
8. Zagoskin N. P. The Companion of Kazan. Kazan : Imperial University, 1895. 188 p.
9. Agafonov N. I. From the history of Kazan. Kazan : I.N. Kharitonov Printing House, 1906. 236 p.
10. Nadyrova Kh. G. The ICOMOS Charter and Security and Restoration Activities in the Republic of Tatarstan : materials of the International Scientific and Practical Conference «Cultural Heritage in the 21st Century: Preservation, Use, Popularization» / KSUAE. Kazan, 2017. P. 201–209.
11. Cevat Erder. Our architectural heritage: from conciousness to conservation / Cevat Erder. UNESCO. United Kindom, 1986. 236 p.

УДК 725.95
**Агишева Инга Назимовна**
кандидат архитектуры, профессор
**Покка Екатерина Владимировна**
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: ekaterina-p-83@mail.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
**Горбунов Алексей Павлович**
главный архитектор
**НАО «МОСТАФ»**
Адрес организации: 420124, Россия, г. Казань, пр-т Ямашева, д. 37 б

# Эволюция архитектуры транспортно-пешеходных мостов

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – определить приоритетность в архитектуре транспортно-пешеходных мостов транспортной и пешеходной зон, проанализировать функционально-пространственный и художественно-образный строй этих зон на протяжении исторического пути развития транспортно-пешеходных мостов. Выделить основные этапы формирования этих зон, проследить их эволюцию.

*Результаты*. Проведенный анализ позволил выявить, что транспортно-пешеходные мосты, возникшие в целях обеспечения совместной безопасной переправы двух, различных по своей природе, потоков, – собственно людей и, управляемых ими, транспортных средств, в своем развитии прошли несколько стадий. В статье проанализирован архитектурный строй транспортно-пешеходных мостов на примере мостов древнего Китая, первых транспортно-пешеходных мостов в Европе, транспортно-пешеходных мостов эпохи технической революции и мостов XX и XXI веков.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в определении того, что транспортно-пешеходный мост как вид возник тогда, когда пешеходный мост выделился как самостоятельный вид мостов. Мосты со смешанным передвижением людей и транспорта оставались до тех пор, пока для двух этих видов передвижения на них не стали решать раздельные зоны. Развитие транспортных средств, а главное – скорости их движения, определили на мостах приоритет их зон. Период переоценки приоритетов наступил с осмыслением значимости пространств пешеходных зон мостов для людей. В результате зона пешеходного движения стала завоевывать лидирующую роль в функционально-пространственном и художественно-образном решении транспортно-пешеходных мостов.

**Ключевые слова:** архитектура, транспортно-пешеходный мост, дорожное полотно, пешеходная зона, зона рекреации.

## Введение

В древности человек, встречая на своем пути смертельно опасные препятствия, такие как ущелья или реки, преодолевал их с помощью мостов, вкладывая в понятие моста сакральный смысл как средства преодоления непреодолимого. Оттого у верховного жреца в древнем Риме и было звание «понтифик» (происходит от латинского pontis – «мост» и facere – «делать»), поскольку в его функции входило быть «мостом» между людьми и богами. Этот титул сохраняется и сегодня у главы католической церкви в определении его главной функции. А в средневековье строителям мостов, как средства преодоления непреодолимого, приписывалось сотрудничество с нечистой силой. Труднопреодолимые препятствия служили границей между различно контролируемыми территориями, а мосты, преодолевающие эти препятствия, выполняли функцию единения этих территорий. Так с их помощью формировались империи и прокладывались такие великие дороги, как «Царская дорога» на Ближнем Востоке, «Великий шелковый путь», соединивший Китай со Средиземноморьем, «Великие дороги инков», сеть дорог

Древнего Рима, сформировавшая на территории Западной Европы мощнейшую империю, сеть паломнических путей к мощам Св. Иакова, покрывшая Западную Европу и возродившая ее после нашествия варваров. На мостах этих дорог встречались, а у мостов пересекались, людские потоки. Здесь, как нигде в другом месте, зарождались, развивались и приобретали разнообразие коммуникативные процессы. Здесь шел активный процесс обмена товарами, услугами, информацией. Вокруг мостов формировались постоянные поселения, из которых выросли крупные города.

Сооружая свои дороги и возводя на них мосты, человек изначально заботился и о возможности передвижения по ним вьючных животных, а затем и транспортных средств. Это было особо актуальным для военных дорог и тех путей, которые начали превращаться в торговые трассы. Торговля, как двигатель прогресса, влияя на развитие дорог и мостов, разделила их на городские и загородные, наделив городские дороги более интенсивными людскими потоками, а загородные дороги – транспортными. На городских дорогах и мостах стали выделяться зоны для передвижения людей, отличные от проезжей части. Поскольку их покрытие не рассчитывалось на выдерживание ударов копыт и истирание от колес, то их мостили иначе, нежели проезжую часть. Так появились транспортно-пешеходные мосты. Когда же эти зоны на городских дорогах стали делать выше, дабы уберечь людей от нечистот, сливаемых на мостовую, и от наезда колес повозок, появились так называемые тротуары, которые вскоре стали получать и пешеходные зоны на транспортно-пешеходных мостах.

В современных урбанизированных поселениях, насыщенных транспортной инфраструктурой, потребность в комфортных пешеходных коммуникациях реализуется активным строительством пешеходных мостов. Однако остаются актуальными, продолжают развиваться и совершенствоваться транспортно-пешеходные мосты. В работах ведущих архитектурных бюро пешеходные зоны транспортно-пешеходных мостов начинают насыщаться функциональными процессами и приобретать совершенно новое значение в общественной жизни городов. Масштабы транспортных артерий этих мостов, скорости перемещения людей на них с помощью транспортных средств, насыщают публичные процессы на этих мостах той динамикой, которая недоступна на пешеходных мостах. Новейшие технологии позволяют создавать мосты в качестве высокоэкологичных инфраструктурных объектов, осуществляющих непрерывное единение внутригородских локальных рекреационных зон с загородными природными системами [1-6].

**Транспортно-пешеходные мосты древнего Китая**

Самый древний мост, с хорошо сохранившимся различным покрытием дорожного полотна для пешеходов и гужевого транспорта, это мост Аньцзи (Мост безопасной переправы) в Китае. Он построен в 595-605 годах над рекой Сяо в пригороде города Шицзячжуана в северной части провинции Хэбэй. Мост полностью сохранился (периодически заменялись лишь его декоративные поручни). Известно имя зодчего, создавшего это сооружение – это Ли Чунь. Размеры моста: длина – 50 метров, ширина – 9 метров, высота – 7,3 метра. Однопролетную арочную конструкцию моста сегментной формы с длиной пролета в 37 метров Ли Чунь сделал устойчивой к наводнениям. С этой целью опорные части моста он превратил в перекрестно-балочную систему с оголенными перемычками, выполнив их в арочной форме. Эта каменная конструкция для своего времени была уникальна. За свою долгую жизнь мост выдержал тяжелые испытания: несколько крупнейших наводнений и землетрясение в 7,2 балла, произошедшее в 1966 году. На мосту сохранились благодарственные надписи, сделанные китайскими чиновниками в 675 году. Поэты и писатели воспевали мост, сравнивая его с «восходящим над облаками молодым месяцем» и «долгой радугой над горным водопадом».

Другим древним и хорошо сохранившимся транспортно-пешеходным мостом является мост Лугоу, построенный в 1189-1192 годах недалеко от Пекина. Это – 11-ти пролетный арочный мост длиной 266,5 метра и шириной 9,3 метра. Он был возведен через реку Юндинхе. Сейчас это место в юго-западной части Пекина, в 15 км от его исторического центра. В XVI веке для защиты моста и на подступах к городу на восточном берегу Юндинхе была выстроена крепость, и мост с того времени подходит к ее Западным вратам. Мост Лугоу был полностью выстроен в граните. Его ширина позволила обеспечить

комфортные условия для раздельного передвижения по нему людей и повозок. Исходя из соображений функциональной целесообразности его дорожное полотно вымощено различно обработанными плитами: зона транспортного движения, расположенная в центральной части моста, – плитами с крупно-рельефной поверхностью, а зоны пешеходного движения, расположенные по краям – плитами с ровной поверхностью. С обоих концов мост украшают пары мраморных колон высотой 4,65 метра. Людей, передвигающихся по мосту, сопровождает галерея, высеченных в мраморе, львов, установленных на гранитные перила. Красоту этого сооружения в XIII веке высоко оценил Марко Поло. Венецианскому путешественнику принадлежит высказывание: «Превосходный мост, настолько прекрасный, что у него едва ли найдётся соперник в мире». В XVII веке мост Лугоу разрушило наводнение. В 1698 году в честь восстановления моста императором Канси была установлена стела. Вторая стела была установлена рядом с первой императором Цяньлуном, внуком Канси, в 1751 году. Им была отдана дань красоте моста. Третья стела на мосту появилась в 1785 году. Ее установил на западном конце моста тот же император на 50 году своего царствования. В течение долгой жизни моста Лугоу его скульптурные украшения претерпели значительные утраты. Но их всегда восстанавливали. На мосту Лугоу запрещено передвижение транспортных средств, и он открыт только для пешеходов и велосипедистов. На мост идут как на бесплатную художественную галерею под открытым небом, ценнейшие экспонаты которой, находятся под воздействием атмосферных условий, но от случайных физических воздействий людей скульптуры защищены легким ограждением [1-4].

**Первые транспортно-пешеходные мосты в Европе**

В Европе о пешеходах на городских улицах стали заботиться лишь к концу XVIII века. Лондон стал первым городом, в котором, согласно Вестминстерскому акту о тротуарах 1765 года, обочины улиц стали приводиться в цивилизованные зоны пешеходного движения. В городе Бат в 1773 году по проекту архитектора Роберта Адама был построен транспортно-пешеходный мост в виде городской улицы, застроенной с двух сторон зданиями с магазинами и ресторанами на первых этажах, с широкими тротуарами для пешеходов. Мост пережил множество реконструкций, но в настоящее время его облик восстановлен. Мост построен семейством Палтни для удобной связи родового имения с городом и носит его название.

Улица Лувуа в Париже получила тротуары только в 1788 году, и были они не так широки, всего 1,2 метра, но превышали мостовую на 30 см. Получил тротуары и мост Понт Нёф (Новый Мост) в Париже. Он был построен в 1606 году по проекту Батиста Андруэ дю Серсо. Это арочный мост длиной 280 метров и 20 метров шириной. Мост соединил на реке Сене набережную Лувра с набережной Конти, пройдя по северной оконечности острова Ситэ. Ширина моста, не имеющая прежде аналогов, уже изначально создала комфортные условия передвижения по нему. Уширенные быки с обеих сторон, образуя дополнительные площадки, предоставили парижанам возможность задержаться на мосту, не мешая основному движению. Это был первый мост в Париже, построенный без застройки на нем. Парижане впервые могли с моста любоваться видами реки и города. Это качество было высоко оценено, и Новый Мост становился одним из самых оживленных мест Парижа. Жизнь горожан на мосту запечатлена в картинах Клода Монэ (в 1871 году) и Пьера Огюста Ренуара (в 1872 году).

В центре испанского города Ронда над ущельем Тахо в 1793 году был построен транспортно-пешеходный мост. Архитектор Хосе Мартин Адуэла строил его 42 года. Горожане назвали его Пуэнте Нуэво (Новый Мост), т.к. он был построен на месте прежнего моста, простоявшего с 1735 года всего 6 лет, и, рухнув, унесшего жизнь 50 человек. Прежний мост был однопролетным, и его опоры упирались в склоны ущелья. Адуэла выполнил свой мост трехпролетным. Его крайние опоры приближены к склонам ущелья и буквально сливаются с ними, а центральные опоры доходят до поверхности террасы на глубине 98 метров, с которой воды реки Гуадалевин водопадом срываются на глубину 120 метров. С моста открываются впечатляющие виды, а сам мост подобен крепостному сооружению, вырастающему из скалистых склонов ущелья [1-7].

**Транспортно-пешеходные мосты эпохи технической революции**

В 1849 году по проекту английского инженера Вильяма Кларка в Будапеште построен один из красивейших мостов в Европе – мост Сечени. Он назван в честь графа Иштвана Сечени, инициатора, мецената и организатора строительства моста, посветившего этому свою жизнь. Длиной в 375 метров, мост устойчиво подвешен чугунными цепями к каменным пилонам. Для середины XIX века это было шедевром инженерного искусства. При ширине моста в 16 метров на нем комфортно решены зоны транспортного и пешеходного движения. Тротуары на этом мосту изолированы от полосы движения машин чугунной оградой, огибая опорные конструкции моста, они образуют смотровые площадки. Мост украшен огромными скульптурами львов. Мост впервые соединил части города, разделенные Дунаем, – возвышенную Буду и низменную Пешту. Это был первый мост через Дунай в пределах города. Стоимость его строительства составила 4,4 миллиона форинтов. Это была огромная сумма, поэтому проезд и проход по нему были платными. Так пешеход платил по 1 крейцеру (1\100 форинта), если шел с грузом, то в два раз больше, а если сопровождал животное, то в три раза больше. Если возница перевозила людей, то платили 5 крейцеров, а если грузы, превышающие вес людей, то в два раза больше. В конце Второй мировой войны мост был взорван отступающей немецкой армией, но, уже с 1947 по 1949 годы, был восстановлен. Мост активно эксплуатируется. Однако в воскресные дни по нему прекращается транспортное движение, и он полностью предоставляется пешеходам.

В Петербурге через реку Неву до середины XIX века не было выстроено ни одного капитального моста. Этому препятствовали такие особенности этой реки, как сильное и холодное течение, большая глубина и ширина. Через нее переправлялись на лодках, а когда она замерзала – по льду. В 1727 году в городе был выстроен первый мост. Это был наплавной мост на 26 деревянных барках-плашкоутах. Мост соединил Васильевский и Адмиралтейский острова. В честь Исаакиевской церкви, стоящей на левом берегу Невы, мост был назван Исаакиевским, он был платный. С каждого взималась 1 копейка, с лошади – 2 копейки, а владельцы карет платили 5 копеек. В 1754 году императрица Елизавета Петровна в честь рождения престолонаследника Павла Петровича отменила плату этих «мостовых денег». Перед ледоставом мост разбирался, и пока река полностью не замерзала, ее переплывали на лодках. То же самое повторялось и весной, когда мост вновь собирался только после окончательного схода льда, и до этого горожанам вновь приходилось переплывать Неву на лодках, но теперь опасно маневрируя между плывущими льдинами. Для пропуска судов по ночам мост разводился. Он разводился и когда сходили суда с верфи Адмиралтейства, дабы не быть разрушенным большой волной, возникающей при спуске судов. Городу нужна была качественная переправа, и над решением этой проблемы работало значительное число ученых-теоретиков, инженеров-мостостроителей с мировым именем и просто энтузиастов. Со второй половины XVIII века в государственные учреждения поступило более 60 проектных предложений, выполненных ими. В их числе был удивительный проект, предложенный знаменитым изобретателем Иваном Петровичем Кулибиным. Не обладая теоретическими знаниями и умением расчета, Кулибин творил интуитивно, проверяя результаты своего творчества на макетах. Макет окончательного варианта моста был выполнен в 1/10 натуральной величины. Испытания этой модели показали, что мост может выдержать нагрузки, равные одновременному нахождению на всем дорожном полотне тяжело нагруженных телег. Конструктивно мост Кулибина представлял собой систему решетчатых шарнирных арок, выполненных из деревянных брусьев, скрепленных металлическими болтами. Дорожное полотно длиной 298 метров и шириной 8,5 метра укладывалось в концах моста на уровень верхнего пояса ферм, а к центру моста опускалось до уровня нижнего пояса на высоте 12,8 метра над водой. Смелое конструктивное решение, апробированное экспериментальным испытанием на макете, настолько опережало свое время, что, как и многие изобретения гения, осталось нереализованным. Только в 1850 году в Петербурге вместо наплавного моста строится постоянный мост, разработанный инженером С.В. Кербедзом и архитектором А.П. Брюлловым по поручению Главного управления путей сообщения и общественных зданий. Это чугунный 7-пролетный мост на каменных опорах длиной 298,2 метра с

разводным пролетом у правого берега Невы. На его дорожном полотне шириной 20,3 метра с обеих сторон проезжей части для пешеходов выделены тротуары шириной 3,2 метра. Мост назван Благовещенским по названию Благовещенского храма на левом берегу Невы. В 1854 году на мосту, на его первом быке после разводного пролета, строится часовня в честь Св. Николая. Она просуществовала до 1930 года, затем была снесена с целью установки на ее месте памятника П.П. Шмидту. В 1863 году по мосту были проложены рельсы конного трамвая. Открытие в 1885 году Морского канала обеспечило появление на Неве крупнотоннажных судов, пропуск которых потребовал модернизации разводной части моста, габариты и устаревшее механическое устройство которого уже не соответствовали новому уровню судоходства. Однако Первая мировая война, а затем революция 1917 года, не позволили решить эту проблему. Со строительством Беломорско-Балтийского канала в 1930 году и открытием Волго-Балтийского водного пути в 1939 году мост претерпел первую основательную реконструкцию. Его чугунные фермы были заменены стальными, а разводной пролет был перемещен в центр моста, в ту часть, где в реке было наиболее глубокое течение. Быки разводного пролета были надстроены двумя павильонами, в которых размещались разводные механизмы. В ходе этой реконструкции ширина моста увеличилась на 4 метра, что отразилось и на величине тротуаров. Последняя реконструкция моста была произведена в 2007 году. Была обновлена его конструктивная основа с увеличением ширины до 37 метров и ликвидацией трамвайного движения. Теперь пешеходные тротуары отделены от проезжей части металлической решеткой. В современном Благовещенском мосту сохранены оригинальные чугунные ограждения и светильники-торшеры, выполненные по эскизам архитектора А.П. Брюллова, а также воспроизведены формы, облицованных гранитом, каменных береговых устоев, быков и павильонов разводного пролета, изменившихся в результате предыдущей реконструкции. После Благовещенского моста в 1879 году в Петербурге был выстроен второй постоянный разводной мост – Литейный. В начале XX века город приобрел еще три металлических моста: Троицкий, Большеохтинский и Дворцовый [5-7].

Во второй половине XIX века искусство мостостроения из стали, позволяющей конструировать мосты больших пролетов без промежуточных опор, достигает громадных масштабов. Такая потребность в них объясняется бурным развитием сети железных дорог, прокладываемой между городами и промышленными центрами. В 1883 году в Нью-Йорке через пролив Ист-Ривер выстраивается первая сухопутная переправа, соединяющая непосредственно сам город, расположенный на острове Манхеттен, с пригородом Бруклин. Свое название он получает по названию пригорода. Это металлический мост, который, на высоте 41 метр над водой, держат стальные тросы, натянутые через два гранитных пилона высотой 84 метра. Три пролета моста имеют общую длину 1825 метров. 20 лет этот мост держал первенство в мире по длине подвесных мостов. Мост выстроен с двумя полотнами движения. Основное полотно шириной 26 метров предназначалось для 2-х полосного пути железнодорожного транспорта и 4-х полосного пути гужевого транспорта. В середине XX века рельсы с моста были убраны, а конные экипажи гораздо раньше уступили место автомобилям, и движение автотранспорта по мосту стало проходить по 6 полосам. В настоящее время это самый старый действующий мост в Нью-Йорке, и транспорт на нем ограничен движением только легковых автомобилей. Облегченное полотно для пешего движения шириной 5 метров расположено над основным полотном. Оно изначально было оборудовано скамьями для отдыха пешеходов. Далее выстраиваются мосты, также связывающие остров Манхеттен с материком через пролив Ист-Ривер – это Вильмсбургский мост, мост Генри Хадсона, мосты Манхэттенский и Куинсборо. Во всех этих мостах для пешеходов предусмотрены тротуары. Бурно развивавшееся автомобильное движение в Нью-Йорке вынуждало реконструировать их, увеличивая пропускную способность. Теперь, для защиты пешеходов и велосипедистов от автомобильного движения, на этих мостах созданы, изолированные от автотрасс, дорожки. Все они незначительны по ширине, отчего на них отсутствуют сервисные услуги, и нет скамей для отдыха. Но, поскольку с этих мостов раскрываются

великолепные виды города, они, невзирая на значительную их длину, популярны для пеших прогулок, как у самих горожан, так и у гостей города [8].

В 1894 году в Лондоне торжественно вводится в эксплуатацию висячий разводной мост через Темзу, предназначенный для раздельного конного и пешеходного движения – Тауэрский мост. Его автором был Хорас Джонс, победивший в конкурсном отборе проектов. Длина моста 244 метра, он сочетает в себе все достижения в мостостроении. Пешеходные дорожки на его основном разводящемся полотне дополнены двумя крытыми пешеходными галереями на высоте 44 метров. На эти галереи ведут винтовые лестницы и лифты, заключенные в две центральные башни. Мостовой пролет между башнями длиной 61 метр разбит на два подъемных крыла. Гидравлическая система, приводящая в движение разводной механизм моста, позволяет выполнять развод и соединение подвижных крыльев в считанные минуты. Пешеходные галереи, однако, не пользовались спросом у пешеходов. Люди предпочитали пережидать развод, поскольку он производился до 50 раз в сутки, и передвигаться по тротуарам основного дорожного полотна. Крытые галереи моста облюбовали лондонские воры, поэтому их вскоре закрыли. Открылись вновь они лишь в 1982 году в качестве музея моста со смотровыми площадками. В настоящее время пол музея выполнен из стекла и вид сверху процесса развода основного полотна моста входит в его экспозицию. Развод Тауэрского моста теперь производится 1 раз в день. Сам развод и вид пропуска по Темзе скопившихся судов, привлекают к набережным реки значительное число зрителей, это стало одним из главных ритуальных действ в Лондоне и сделало мост его символом.

**Транспортно-пешеходные мосты XX и XXI веков**

В 1932 году в Сиднее строится Харбор Бридж – самый большой в мире стальной арочный мост. Пересекая залив Порт-Джексон, мост длиной в 1149 метров и шириной в 49 метров соединил два городских района 8 полосами автомобильного движения, 2 линиями железнодорожного движения, велодорожкой и пешеходным тротуаром. Арка, держащая дорожное полотно над водой на высоте 49 метров, имеет пролет в 503 метра и высоту свода над водой в 134 метра. Такая высота моста позволяет заплывать в залив океанским лайнерам. Грандиозные размеры стальной конструкции моста подчеркнуты такими же грандиозными каменными пилонами, воздвигнутыми на устоях, возвышающихся на высоту 100 метров. Наружные контуры верхнего пояса арки моста из эксплуатационных соображений снабжены ступенями и ограждением. Это сделало верхнюю точку свода арки, откуда раскрываются захватывающие дух виды города, доступной для пешеходов и позволило осуществлять восхождение на арку всем желающим в возрасте старше 10 лет. И это активно практикуется. Покорители вершины Харбор Бридж облачаются в специальные комбинезоны со страховочными креплениями и движутся по 1,5 километровой длины лестнице на арке моста в сопровождении инструкторов.

В Сеуле в 1972 году был построен мост через реку Хань. Он соединил районы городов Ёнсан и Сочхо, расположенных по обе стороны реки. Это мост Чамсу. Он был невысоким, и в сезон дождей его затапливало. С интенсивным градостроительным развитием этих районов такое качество, связывающей их, коммуникации перестало устраивать город, и в 1982 году мост реконструировали, его надстроили еще одним дорожным полотном. По верхнему полотну пустили транспорт, а нижнее полотно отдали пешеходам и велосипедистам. Теперь мост получил новое название – «Банпо». Со временем район, в котором расположен мост Банпо, стал престижным, но архитектурный облик моста оставлял желать лучшего. Тогда было решено превратить мост в арт-объект с сохранением его функции. В 2009 году по всей длине моста, равной 1495 метрам, в обе стороны из 380 подвижных сопел забил фонтан, выстреливая воду на расстояние до 43 метров. Траектория струй фонтана меняется в соответствии с музыкальной и цветосветовой программой. Это грандиозное водное свето- цвето- музыкальное шоу происходит несколько раз в течение дня и вечера. Сеульцы гордятся тем, что этот фонтан занесен в книгу Гиннеса как самый длинный фонтан в мире, и что это действо носит экологический характер, поскольку вода для фонтана забирается из самой реки, проходит очистку, в очищенном виде попадает в насосы, и такой же чистой возвращается в реку.

Берега залива Золотой Рог в Стамбуле активно заселялись с незапамятных времен. Там, где воды залива сливаются с Босфором, в этом стратегически важном месте, люди переправлялись через залив, сооружая сухопутные переправы. Первый проект капитального постоянного моста через Золотой Рог в 1502 году был создан Леонардо да Винчи. Это был арочный однопролетный мост длиной 350 метров и шириной 24 метра. Каменная арка моста могла перекрыть залив сводом высотой 41 метр, что позволило бы свободно проплывать под ней парусникам. В современной Турции планируют воплотить в жизнь творение гениального Леонардо да Винчи. В настоящее время через Золотой Рог построено уже четыре моста. Самый старый из них – железобетонный разводной Галатский мост. Впервые он был построен в 1845 году. Его возведением руководила Валиде (титул матери правящего султана), и поэтому мост был назван в ее честь мостом Валиде. Мост был деревянным. Он трижды основательно реконструировался, в 1863, 1875 и 1912 годах. После последней реконструкции длина моста составила 466 метров, а ширина – 25 метров. В 1992 году после пожара на мосту, в результате которого сгорела его центральная часть, деревянный мост был заменен железобетонным. Новый мост выстроен двухуровневым и разводным (разводная часть моста выполнена в один уровень). Его длина 484 метра, ширина 42 метра. Верхний ярус моста предназначен для автомобильного и пешеходного движения, а нижний отдан только пешеходам. В 2005 году на верхнем уровне моста к автомобильному движению добавлено движение трамваев. Галатский мост построен как комфортное рекреационное пространство, с которого раскрываются живописные виды обеих частей города с доминирующими в них мечетью Сулеймание и Галатской башней, как пространство, предоставляющее каждому непосредственный контакт с водой залива и с водными просторами Босфора. Горожане высоко ценят это качество моста и активно им пользуются, отдыхают в прохладной тени нижнего яруса в многочисленных кафе и ресторанчиках. Пешеходную зону верхнего открытого яруса оккупировали ценители совершенно иного отдыха. Тут плотными рядами стоят любители рыбалки. Здесь любой может приобрести удочку на прокат и присоединиться к рыбакам.

При подготовке к Олимпиаде 1992 года Барселона претерпела крупнейшие реконструктивные преобразования, и саму Олимпиаду провел практически обновленный город. Одним из мероприятий, осуществленных в этот период, было установление транспортно-коммуникационной и рекреационной связи между двумя разобщенными районами Сант-Марти и Сант-Андреа, разделенными железнодорожными путями. Основной целью было интегрировать социально проблемный район Сант-Андреа в структуру Новой Барселоны. Для связи двух шоссе – Филиппа II и Бак де Рода – в 1987 году по проекту Сантьяго Калатравы через железнодорожные пути был выстроен мост. Это была первая переправа, возведенная великим строителем мостов. И, хотя мост официально называется Бак де Рода, барселонцы его называют мост Калатравы. Мост очень красив. Он – и архитектурное творение, в котором единой формой организовано два функционально различных пространства, и инженерное сооружение, в котором конструктивная целесообразность слита в органическое целое с эстетикой формы. Мост подвешен к двум парам стальных арок параболической формы. Пары арок состоят из вертикальной арки и стабилизирующей наклонной арки. Скрепленные вверху горизонтальными стяжками обе арки в паре составляют единую конструктивную систему. Вертикальные арки расположены между центральной проезжей частью моста и пешеходными дорожками, а наклоненные арки примыкают к мосту с другой стороны пешеходных дорожек. К вертикальным аркам подвешено дорожное полотно с 4-полосной автострадой, а к наклоненным аркам подвешены пешеходные дорожки овальной формы, уширяющейся в центральной зоне моста и создающей в ней протяженные видовые площадки. Ванты, держащие дорожное полотно, собраны попарно. Натянутые строго вертикально, они двумя метрическими рядами обрамляют дорожное полотно и формируют спокойное открытое пространство для автодорожного движения. Пространства же для пешеходов, сформированные внутри каждой пары арок, предназначены для неспешного восприятия всей красоты конструктивной системы моста. Протяженные и сужающиеся к верху пространства композиционно построены на противопоставлении окаймленных арками двух рядов вант, из которых один ряд это

ванты вертикальных арок, образующие вертикальную плоскую поверхность, а другой ряд – ванты, наклоненных арок, образующие наклонную поверхность. Эти поверхности завершаются ритмическим рядом вертикальных пластин, выполняющих функцию конструктивных стяжек арок в зоне их сближающихся вершин. Автодорожное полотно моста эстакадой соединяется с трассами городских автодорог, а на пешеходные дорожки моста ведут лестничные марши, сливающиеся с опорами наклоненных арок. Со временем в районе моста Бак де Рода сформировалась парковая зона, а сам мост своей красотой выполняет функции главного рекреационного объекта [9].

В столице Ирландии Дублине в течение 7 лет с 2003 по 2009 годы было построено три транспортно-пешеходных моста. Автор двух из них – Сантьяго Калатрава. Это мосты, названные в честь ирландских писателей Сэмюэля Бэккета и Джеймса Джойса. Третий мост – Спенсер Бридж – выстроен по проекту архитектора Аманды Ливит. Мосты Калатравы – это шедевры архитектурно-конструктивного творчества, как и все произведения этого гениального архитектора. Выполненные из стали, они одновременно изящны и величественны. А мост архитектора Ливит – это архитектурно-художественное творение, выполненное в бетоне, своими эстетическими качествами воздействующее как скульптурное произведение. На всех трех мостах созданы комфортные зоны пешеходного и велосипедного движения. Если на мостах Калатравы через реку Лиффи внимание уделено основательной защите пешеходов от зон транспортного движения, то на мосту Ливит зона пешеходного движения обогащена дополнительным пространством для отдыха, откуда раскрываются интерьерные виды Дублина вдоль Королевского канала, который пересекает этот мост [9-10].

Еще одно творение Сантьяго Калатравы – струнный мост в Иерусалиме – построено в 2012 году. Так же, как и в Дублине, этот транспортно-пешеходный мост подвешен на тросах к мачте и по форме ассоциируется с арфой, которая в Ирландии является символом страны, а в Израиле – символом праотца израильского народа, царя Давида. Поэтому этот мост называют Арфой Давида [9].

В 1994 году архитектор Заха Хадид для Объединенных Арабских Эмиратов выполнила проект транспортно-пешеходного моста из стали и бетона. В 2010 году этот мост был выстроен над проливом, отделяющим остров Абу-Даби от материка. Дорога, соединяющая остров с материком, подошла к мосту эстакадой со стороны острова и дамбой – со стороны материка. На мосту длиной 842 метра на высоте 20 метров над водой дорога разделилась на два полотна со встречным движением, по каждому из них машины перемещаются по 4 полосам, а также имеется пешеходный тротуар, защищенный от транспортного движения глухим парапетом. Конструктивно оба дорожных полотна консольно держатся на четырех парах арок, при этом они дополнительно подвешены на тросах к двум центральным парам полотна. Мост назван именем шейха Зайда – первого президента страны (он управлял ОАЭ с 1971 по 2004 годы). С его именем связан тот стремительный скачок, который сделала страна в своем развитии. Почти всю территорию Эмиратов покрывала пустыня Руб-эль-Хали, при нём в этой пустыне, где выживали лишь бедуины, стали вырастать небоскребы. По желанию правительства, мост должен был стать символом на пути непрерывного прогрессивного развития страны. Таким его и выполнила Заха Хадид. Как и все творения Захи Хадид, мост шейха Зайда – необыкновенное сооружение. Хадид не только великолепно решила функциональные качества моста, она выразила в облике моста его символическое значение. Идею облика она позаимствовала в динамичных формах песчаных дюн великой пустыни Руб-эль-Хали, высота которых достигает 300 метров. Характерные особенности изменения форм дюн под воздействием ветра отражены в поисковом ряду форм конструктивных арок моста. Парные арочные опоры моста, размещенные между двух полотен дорог, Хадид выстроила непрерывным художественным ритмом, по синусоиде, в волнах которой самая высокая доминантная пара арок достигает в высоту 64 метров над водой. Если в центральных парах арки расположены близко друг к другу, то в крайних парах их расположение контрастно противоположно. В самой низкой арочной паре, размещенной в конце моста, обращенном в сторону материка, крайние склоны арок сливаются воедино, а в противоположном конце моста, обращенном в сторону острова, они максимально раздвинуты и перекинуты на внешние стороны дорожных полотен. В

целом, мост создан как пространственная скульптура, в которой, в соответствии с общим замыслом, художественно отточен каждый конструктивный элемент. Общим строем арок Хадид сформировала впечатляющий силуэт моста и его облик, динамично воспринимаемый в различных ракурсах. А детальной художественной проработкой элементов моста, воспринимаемых с ближних дистанций, она сформировала художественно законченные пространственные сюжеты, возникающие на самом мосту и динамично раскрывающиеся при движении по нему. У моста высокохудожественная динамичная подсветка. Ее разработал известный дизайнер Роджер Ван дер Хейде. В темное время суток мост воспринимается в динамике изменяющихся цветовой гаммы и интенсивности света. С архитектурным замыслом органично увязано ритмичное чередование подсветки наружных граней арок, создающее эффект их движения. Мост шейха Зайда держит первенство в определении «самый красивый мост» [11].

**Заключение**

Транспортно-пешеходные мосты, возникшие в целях обеспечения совместной безопасной переправы двух различных по своей природе потоков – людей и транспортных средств, управляемых ими, в своем развитии прошли несколько стадий.

На ранней стадии возникновения мостов пешее передвижение и передвижение с использованием животных и технических средств было смешанным. В этот период строились мосты без видового разнообразия. На уровне инстинкта делались шире и укреплялись конструктивно те мосты, по которым предполагалось проскакать на коне, провести нагруженного мула или провезти телегу.

Когда люди стали строить мосты отдельно только для пешего передвижения и мосты, по которым можно не только пройти пешком, но и проехать на повозке, выделился, как самостоятельный вид, пешеходный мост. Остальные же мосты продолжали оставаться со смешанным передвижением людей и транспорта до тех пор, пока для этих двух видов передвижения на них не стали устраивать раздельные зоны. Тогда и возник транспортно-пешеходный мост как вид. Развитие транспортных средств, а главное – скорости их движения, определили на мостах приоритет их зоны.

С осмыслением значимости пространств пешеходных зон мостов наступил период переоценки приоритетов. В результате зона пешеходного движения стала завоевывать лидирующую роль в функционально-пространственном и художественно-образном решении транспортно-пешеходных мостов, а люди на мостах из пешеходов превращаться в посетителей, они уже не только шли по мосту, но и пребывали на нем, участвуя в различных функциональных процессах.

## Список библиографических ссылок

1. Эдвард Денисон, Йан Стюарт. Как читать мосты. Интенсивный курс по истории создания мостов. М. : Рипол Классик, 2012. 256 с.
2. Ян Пенберти. Мосты. 75 самых красивых мостов мира. М. : Арт-Родник, 2009. 160 с.
3. Анджия Сасси Перино, Джорджо Фараджана. Мосты. National Geographic. : Астрель, 2004. 185 с.
4. Bernhard Graf. Bridges that Changed the World. Munich-Berlin-London-N-Y. : Prestel Verlag, 2005. 125 p.
5. Покка Е. В. Психологическое воздействие рекреационных мостов на человека в момент пребывания на них // Приволжский научный журнал. 2017. № 1. С. 129–135.
6. Агишева И. Н., Покка Е. В. Идейно-образный замысел многофункциональных пешеходных мостов // Приволжский научный журнал. 2016. № 4. С. 144–149.
7. Agisheva S. T. Creation of World Cultural Heritage Buffer Zone under the influence of a new paradigm // La scuola di Pitagora s.r.l. 2015. P. 651–656.
8. Donald C. Jackson. Great American Bridges and Dams. Washington, DC : Preservation Press, 1988. 357 p.
9. Bridges // https://calatrava.com/search.html?keywords=bridge&query_type=and (reference date: 20.06.2019).

10. Мост Спенсер-док-бридж // https://archi.ru/projects/world/689/most-spenser-dok-bridzh (дата обращения: 20.06.2019).
11. Sheikh Zayed Bridge // https://www.zaha-hadid.com/architecture/sheikh-zayed-bridge (reference date: 20.06.2019).

**Agisheva Inga Nazimovna**
candidate of architecture, professor
**Pokka Ekaterina Vladimirovna**
candidate of architecture, associate professor
E-mail: ekaterina-p-83@mail.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Gorbunov Alexey Pavlovich**
chief architect
**NJSC «MOSTAF»**
The organization address: 420124, Russia, Kazan, Yamashev ave., 37 b

## Evolution of transport and pedestrian bridge architecture

**Abstract**

*Problem statement.* The aim of research is to define priority in architecture of transport and pedestrian bridges of transport and pedestrian zones, to analyze a functional and spatial and art and figurative system of these zones throughout a historical way of development of transport and pedestrian bridges. To allocate the main stages of formation of these zones, to track their evolution.

*Results.* The carried-out analysis allowed to reveal several stages of development of the transport and pedestrian bridges arose for providing a joint safe crossing of two streams – people and the vehicles operated by them. In an article the architectural system of transport and pedestrian bridges are analyzed on the example of bridges of ancient China, the first transport and pedestrian bridges in Europe, transport and pedestrian bridges of an era of technical revolution and bridges of the $20^{th}$ and $21^{st}$ centuries.

*Conclusions.* The importance of the received results for architecture consists in definition that the transport and pedestrian bridge as a look arose when the pedestrian bridge was allocated as an independent view of bridges. Bridges with the mixed movement of people and transport remained until for two of these types of movement on them did not begin to solve separate zones. Development of vehicles, and, above all – speed of their movement, defined a priority of their zone on bridges. The period of revaluation of priorities came with judgment of the importance for people of spaces of pedestrian zones of bridges. As a result the zone of the pedestrian movement began to win the leading role in the functional and spatial and art and figurative solution of transport and pedestrian bridges.

**Keywords:** architecture, transport and pedestrian bridge, roadbed, pedestrian zone, recreation zone.

## References

1. Edward Denison, Yan Stewart. How to read bridges. An intensive course on history of creation of bridges. M. : Ripol Klassik, 2012. 256 p.
2. Jan Penberti. Bridges. 75 most beautiful bridges of the world. M. : Art Spring, 2009. 160 p.
3. Andzhiya Sassi of Perino, Giorgio Faragian. Bridges. National Geographic : Astrel, 2004. 185 p.
4. Bernhard Graf. Bridges that Changed the World. Munich-Berlin-London-N-Y. : Prestel Verlag, 2005. 125 p.
5. Pokka E. V. Psychological impact of recreational bridges on the person at the time of stay on them // Privolzhsky nauchniy jurnal. 2017. № 1. P. 129–135.

6. Agisheva I. N., Pokka E. V. Ideological and figurative plan of multipurpose pedestrian bridges // Privolzhsky scientific journal. 2016. №. 4. P. 144–149.
7. Agisheva S. T. Creation of World Cultural Heritage Buffer Zone under the influence of a new paradigm // La scuola di Pitagora s.r.l. 2015. P. 651–656.
8. Donald C. Jackson. Great American Bridges and Dams. Washington, DC : Preservation Press, 1988. 357 p.
9. Bridges // https://calatrava.com/search.html?keywords=bridge&query_type=and (reference date: 20.06.2019).
10. Spencer-dok-Bridge//https://archi.ru/projects/world/689/most-spenser-dok-bridzh (reference date: 20.06.2019).
11. Sheikh Zayed Bridge//https://www.zaha-hadid.com/architecture/sheikh-zayed-bridge (reference date: 20.06.2019).

УДК 72.03
**Ермакова Евгения Владимировна**
архитектор
E-mail: evgenia.er@mail.ru
**ООО «Архитектура и культурная политика»**
Адрес организации: 115054, Россия, г. Москва, Космодамианская наб., д. 52, стр. 10
**Рынковская Марина Игоревна**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: marine_step@mail.ru
**Российский университет Дружбы Народов**
Адрес организации: 117198, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

# Формирование пластики оболочек в концертном зале

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – рассмотрение процесса эволюции формы концертного зала от прямоугольной до сложной конфигурации, связанного с появлением здания Берлинской филармонии, его постепенного усложнения и внедрения таких архитектурно-строительных систем, как «оболочки», которые на данный момент широко используются в экстерьере и интерьере зрелищного здания, способствуя формированию пластики архитектурного сооружения.

*Результаты*. Выделены наиболее важные этапы развития зрительского пространства концертного зала; составлена классификация наиболее используемых оболочек и выявлены роли данных систем в композиции здания.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в дальнейшем совершенствовании процесса формообразования концертного зала с внедрением оболочек простой и сложной геометрии.

**Ключевые слова:** формообразование, концертный зал, оболочки, пластика.

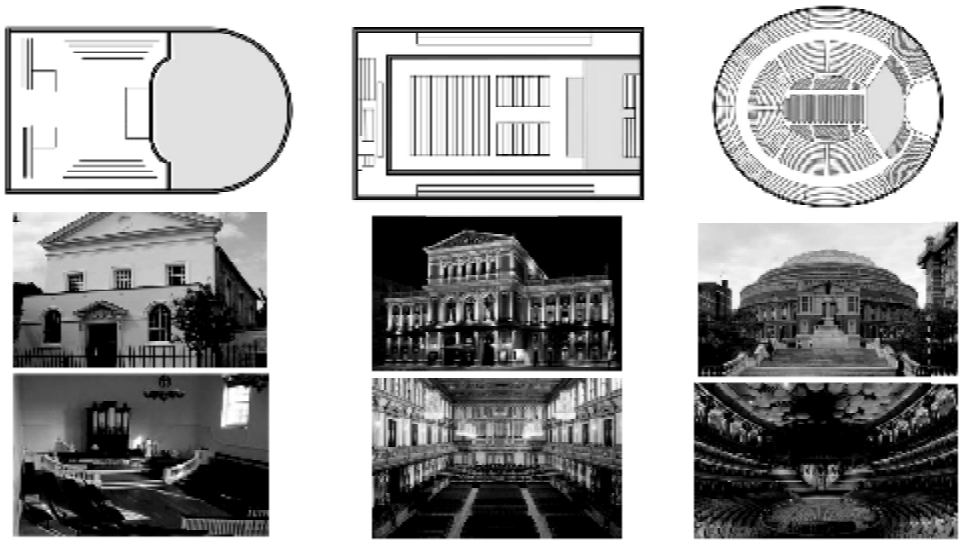
## Введение

Развитие формы концертных залов занимает достаточно продолжительный период в истории архитектуры. На протяжении 25 столетий менялась и совершенствовалась конфигурация зрительского пространства и сцены, а также изменялись фасады зданий. Важно показать и проанализировать постепенное усложнение формы концертного зала, которое началось с момента открытия Берлинской филармонии и это, в дальнейшем, способствовало появлению сложных структур, таких как «оболочки», которые несут в себе ряд определённых качеств, отвечающих за формирование пластики архитектурного сооружения.

## Проектирование формы до середины XX века

До середины XX века проектирование концертного зала велось по стандартному шаблону. Самыми распространёнными формами считались прямоугольная, круглая, полукруглая или различные вариации этих форм. Самой удобной формой считалась прямоугольная, в которой единая масса слушателей была расположена напротив оркестра, превосходя его в количестве; пространство было линейным и в композиции зала присутствовали колонны, полуколонны, пилястры, которые способствовали хорошей структуре отражений звука от стен.

В 18 в. в России и Европе появляются первые специализированные камерные концертные здания, такие как Holywell Music Room (1748 г.) (рис. 1а), St. Cecilia’s Room (1762 г.), Hanover Square Room (1775 г.), Altes Gewandhaus (1781 г.), Театр во дворце Останкино (1795 г.), построенные по принципу амфитеатра и рассчитанные на небольшое количество зрителей (до 500).



а) б) в)

Рис. 1. Формы концертных залов:
а) подковообразная форма (концертный зал Holywell Music Room в Оксфорде, 1748 г.);
план (иллюстрация авторов), фасад и интерьер (интернет-ресурс: coolplaces.co.uk);
б) прямоугольная форма (концертный зал Musikverein в Вене, 1870 г.;
план (иллюстрация авторов), фасад и интерьер (интернет-ресурс: thousandwonders );
в) круглая форма (концертный зал Royal Albert Hall в Лондоне, 1874 г.);
план (иллюстрация авторов), фасад и интерьер (интернет-ресурс: europeanheritageawards)

Первыми капитальными постройками, в которых проводились большие концерты в России, были залы дворянских собраний. Их строительство начинается в последней четверти XVIII в. Все они использовались как танцевально-концертные. По сравнению со зрительными залами античности, зал 18 века приобретает «U»-образную форму со скруглением по бокам для создания эффекта «акустической линзы», собирающей звук в центре зала и относительно равномерно рассеивающей звук ко всем стенам. Развитие композиции зала происходит в длину. «U»-образный амфитеатр затем переходит в законченную прямоугольную форму. До 1901 г. проектируются концертные залы, имеющие прекрасную акустику: Grosser Musikvereinssaal in Vienna (рис. 1б), Symphony Hall in Boston and Concertgebouw in Amsterdam. Для слушателей звук в них идеален, почти роскошен; из-за богатой реверберации, количества ранних боковых отражений, которые дают большое пространство для распространения музыки, баланса тона среди оркестровых секций, громкости звука и динамики, которая заставляет слушателей подняться после конца фортиссимо [1].

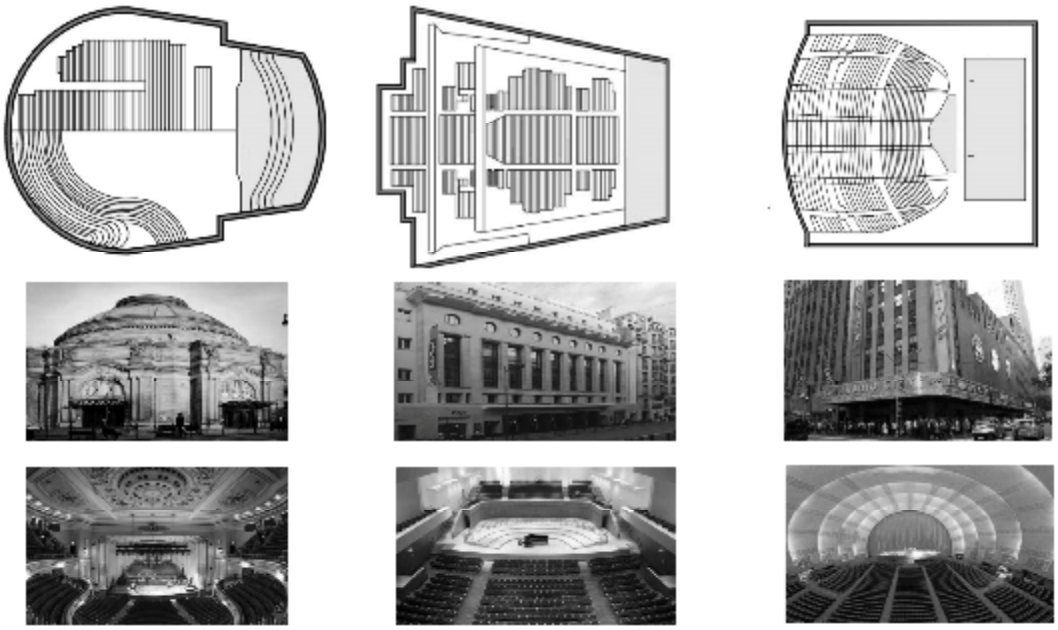
В 19 в. стремления архитекторов и композиторов к изменению формы, а также социальные условия привели к более грандиозным пространствам для музыкального исполнения [2]. Происходит универсализация концертного зала. Создаются крупные монозалы преимущественно эллипсоидной формы с большой вместимостью, в которых могли проводиться не только концертные программы (рис. 1в). Такие здания как Альберт-Холл, дворец Trocadero не являлись специализированными зданиями для проведения музыкальных представлений, но их площадки использовались для проведения массовых концертов. Вместимость залов была гигантской: зал дворца Trocadero мог вместить до 5000 зрителей, Альберт-Холл – до 8000 зрителей. Благодаря данной форме стало возможным проводить программы разных жанров, от собраний до концертов. Таким образом, инструментальная («чистая») музыка сравнительно недолго оставалась «музыкой для слышания» – уже с первой трети XIX в. гастрольная практика «романтических виртуозов» обозначила поворот события концерта в сторону зрелищности [3].

Однако после ряда таких залов стали формироваться пределы расчётной вместимости для музыкальных залов, установленные опытным путём. Были получены значения от 2200 до 2700 человек для одного большого симфонического оркестра и

смешанного хора. С увеличением размеров же зал достигает предела, перейдя который он перестаёт удовлетворять требованиям разборчивости звука и возникает чрезвычайное сильное эхо, которое естественным путём снижается до приемлемой только при 90 %-й занятости зрительных мест (за счёт звукопоглощения).

**Усложнение композиции зрительского пространства к XX в.**

В XX веке архитектурная акустика получила признание как наука, так и как искусство [4]. С началом строительства концертных залов, а также с появлением возможности аудиозаписи или радиотрансляции проводимых мероприятий, происходит усложнение зрительского пространства. Появляются различные вариации, созданные на основе простых форм. Архитектура зального пространства всё больше и больше усложняется, вводятся новые конструкции стен, потолка (рис. 2).



а) б) в)

Рис. 2. Формы концертных залов:
а) вариация круглой формы (концертный зал Usher в Эдинбурге, 1914 г.);
план (иллюстрация авторов), фасад и интерьер (интернет-ресурс: 10best);
б) трапециевидная форма (концертный зал Salle Pleyel в Париже, 1927 г.);
план (иллюстрация авторов), фасад и интерьер (интернет-ресурс: studiodap);
в) вариация круглой формы (концертный зал Radio City Music Hall в Нью-Йорке, 1932 г.);
план (иллюстрация авторов), фасад и интерьер (интернет-ресурс: lifedesignonline)

**Новая конфигурация формы с появлением здания Берлинской филармонии**

В 60-х годах происходит переворот в проектировании концертного зала. В 1963 г. открывается здание Берлинской филармонии, построенное по проекту архитектора Ганса Шаруна. С появлением данного здания меняется внутренняя и внешняя композиция пространства и начинается новая эпоха проектирования концертных залов. В практику проектирования всё больше входят новые выразительные средства формообразования и сложные непрямолинейные формы всё чаще используются в экстерьерах и в интерьерах зрелищного здания.

Фасад Берлинской филармонии образует ассиметричный объём иррегулярной формы. Иррегулярность – термин, несущий в себе понятие непредсказуемости и разнообразия видовых кадров при восприятии. В решении фасада Филармонии архитектор Шарун стремился активизировать восприятие зрителя, привлечь его внимание через организованную структуру пятиугольной формы, завершённой шатрообразной

крышей, организованной из косых линий, которые внутри превращаются в прекрасные «террасы виноградников» [5]. Причудливая кровля Берлинской филармонии, напоминающая «морские волны» или «шатёр», напоминает композицию из поверхностей отрицательной гауссовой кривизны-эллиптических параболоидов. Данная форма получила распространение благодаря большой жёсткости и несущей способности, хорошим экономическим и эксплуатационным качествам. Такие оболочки идеально подходят для общественных зданий, так как позволяют перекрывать пространство от 10 до 100 м. По такому же принципу позже была построена и Эльбская филармония в Гамбурге (Германия, 2017 г.), фасад которой поразительно схож с Берлинской филармонией. Крыша данного концертного зала уже выполнена из восьми криволинейных секций. В наше время внедрение формы эллиптического параболоида также используется многими архитекторами и совершенствуется как в эстетической, так и в конструктивной части (рис. 3).

а) б) в)

Рис. 3. Усложнение формы: а) эллиптический параболоид (интернет-ресурс: mathinsight);
б) Берлинская филармония (интернет-ресурс: architectuul);
в) Эльбская филармония (интернет-ресурс: architime)

Необходимо отметить, что XX век является началом экспериментирования не только с внутренней планировкой концертного зала, но и с его внешним обликом, который тогда складывался в период органичной архитектуры. У Ганса Шаруна данное течение связывается с функционализмом и проявляется в виде биологического функционализма. В основе идейного образа здания лежит «долина виноградников» и это не случайно, ведь ландшафт Германии знаменит горными склонами и в этой части расположена значительная часть виноградников.

Внешний облик филармонии передаёт сам дух её интерьеров, не выпадая из общего композиционного единства. Архитектурные формы выступают в непрерывной смене ракурсов и соотношений между собой, по мере обхода, открываются новыми гранями, приоткрывают или закрывают друг друга [6].

Динамичное развитие музыки и акустики во второй половине XIX века привело к необходимости расширения существующих концертных залов. Тем не менее, в прямоугольной форме, веерообразной или подковообразной создавалась угроза чрезмерно длительного времени реверберации, а также эха [7]. Это и побудило к созданию инновационного решения, активно применяемого и сегодня в больших концертных залах с аудиторией более 1800 человек.

В зале традиционной формы единая масса слушателей расположена напротив оркестра и превосходит его в количестве. В Филармонии же впервые был применен принцип «кругового звука», когда аудитория окружает оркестр и все места располагаются в непосредственной близости от источника звука. Это также способствует более плотному единому пространству и уменьшению площади. Так, при возможности вмещения 2440 человек, зал в длину составляет 60 метров, а самые дальние места расположены в 32 метрах от сцены: разделение между плохими и хорошими местами было сведено к минимуму. Каждая терраса вмещает от 100 до 300 человек, разделяя массу слушателей на группы, сопоставимые с размером оркестра [8] (рис. 4).

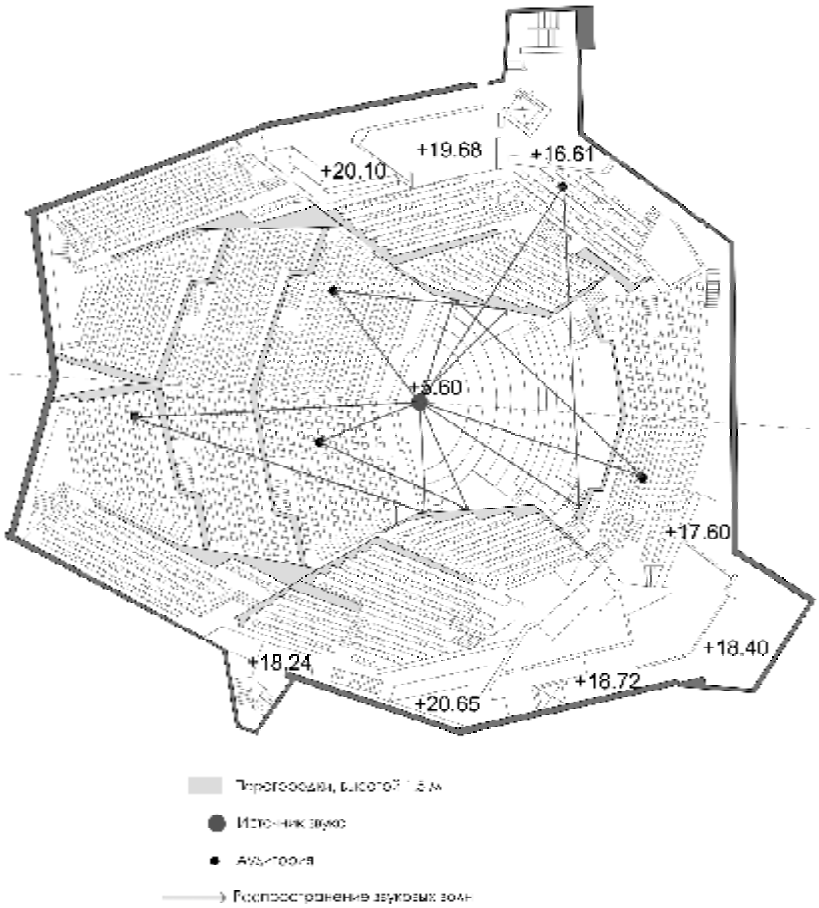



Рис. 4. Зал Берлинской филармонии (иллюстрация авторов)

**Роль оболочек в формировании пластики современного архитектурного сооружения**

С появлением Берлинской филармонии красота архитектурных форм стала преобладать над акустикой в концертных залах. Внедрение криволинейных форм в композицию здания, и усложнение внешнего облика концертного зала на сегодняшний день активно применяются в проектировании. Яркими примерами можно считать такие концертные залы, как Музыкальный центр «Вреденбург», Дом Музыки, Концертный зал DR, Концертный зал национального центра искусств в Гаосюне.

В XXI веке в понятие формообразования начинает входить такое понятие как «пластика архитектурной формы». Создание новых средств формообразования происходит за счёт использования таких архитектурно-строительных систем, как «оболочки», которые выполняют несущую и ограждающую функцию и формируют лицевую поверхность стен и помещений. Формирование оболочек в композиции здания способствует созданию определённых качеств, которые формируют пластику архитектурного сооружения. К ним относятся:

1. Динамика и выразительность архитектурного сооружения.

Концертные здания неправильной формы имеют свободную планировку, которая несёт в себе особый эмоциональный и функциональный смысл. Разнонаправленность или сосредоточение в одном месте архитектурных объёмов способствует явлению текучести и динамичности форм, что образует пластичность в архитектурном сооружении. Данная система также помогает органично вписать объект в окружающую застройку и тем самым добиться единения с ландшафтом.

2. Органичность архитектуры.

Современные оболочки, как правило, создаются на основе природных форм. За основу берётся идея, концепция, построенная на наблюдении какой-либо формы. Например, за основу образа Оперного театра в Харбине был взят осьминог, тянущий

щупальца в разные стороны. Тем самым постройка приобрела пластичность и лёгкость. Национальный центр исполнительских искусств Вейуин на Тайване строился по образу дерева Баньян, широко распространённого в субтропическом Тайване: благодаря дополнительным побегам-стволам, его крона может порой достигать огромной площади. Так под зданием появилась Баньяновая плаза, вдохновленная этим деревом – общественное пространство и своего рода вестибюль центра искусств. В тени можно устроить собрание, праздник или разместить уличных актеров и зрителей [9].

3.Техническая эффективность здания.

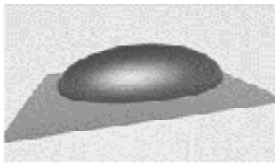
Создание любого элемента конструкции связано с его технической эффективностью. Так, в концертном зале техническая эффективность оболочек, помимо их несущей или ненесущей способностей, связана с комфортным акустическим режимом в помещении. Сложные непрямолинейные формы становятся выгодно используемыми из-за отсутствия стоячих волн и вибрирующего эха. В настоящее время оболочки применяются почти на всех ограждающих пространствах: стены, потолок, дополнительные архитектурные элементы, такие как звукоотражающий козырёк, колонны или просто лепнина.

**Виды оболочек, формирующих пластику концертных залов**

На сегодняшний день в практику проектирования входит использование разнообразных форм оболочек. Самые широко используемые поверхности – это поверхности вращения, велароидные поверхности и поверхности второго порядка (табл. 1). Данные виды в основном составляют фасадную основу здания. Также в практику проектирования входит создание оболочек свободной формы. К примеру, оболочка концертного зала в Зарядье «Стеклянная кора» представляет собой однослойную сетчатую оболочку свободной формы, состоящую из более 1300 узловых элементов, более 8000 балок, 106 опор – колонн и более 2400 стеклопакетов [10]. Фасад здания может также содержать в себе композицию из простых поверхностей. К примеру, Сиднейский оперный театр (Австралия, Сидней) на первый взгляд выглядит как сложная форма, но на самом деле представляет собой набор обыкновенных сферических поверхностей.

Таблица 1

**Виды оболочек, формирующих фасад здания**

| Вид поверхности [11] | Тип поверхности [11] | Модель | Примеры концертных залов |
|---|---|---|---|
| Поверхность второго порядка | Эллипсоид |  (иллюстрация авторов) | Большой народный театр (Пекин, Китай) (интернет-ресурс libertaddigital) |
| Велароидальная поверхность | Синосоидальный велароид, ограниченный плоским прямоугольным контуром | Соединение трёх велароидов на прямоугольной плоскости (иллюстрация авторов) | Концертный зал Национального центра Искусств (Гаосюнь,Тайвань) (интернет-ресурс architime) |

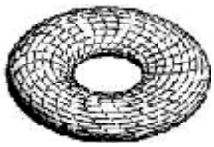
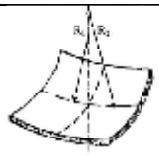
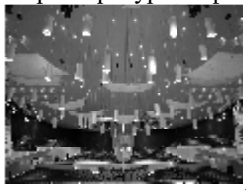
Продолжение таблицы 1

| | | | |
|---|---|---|---|
| Поверхность вращения | Поверхность сопряжения соосных цилиндра и конуса | (иллюстрация [11]) | Концертный зал «Рой Томсон-Холл» (Торонто, Канада) (интернет-ресурс engineeringharmonics) |
| Свободная форма | Сетчатая оболочка | (иллюстрация [10]) | Концертный зал в Зарядье (Москва, Россия) (интернет-ресурс architime) |

Создание эффективного/комфортного акустического режима зальных помещений общественных зданий сегодня абсолютно невозможна без использования прогрессивных конструктивно-технологических решений оболочек интерьеров [12]. Интерьер могут формировать такие поверхности как циклические, линейчатые и т.д. (табл. 2).

Таблица 2

**Виды оболочек, формирующих интерьер здания**

| Вид поверхности [11] | Тип поверхности [11] | Функция | Модель |
|---|---|---|---|
| Циклические поверхности | Циклические поверхности вращения | Совмещение определённого количества данных поверхностей создаёт регулируемый по высоте навес, предназначенный для отражения звука обратно на сцену. В Сиднейском оперном театре была создана композиция из 18 акриловых колец, которые являются звукоотражающими козырьками [13] |  (Циклическая поверхность вращения [11]) (акриловые кольца) [13] |
| Поверхности переноса параболы по параболе | Эллиптический параболоид | Используются в конструкции звукоотражающего козырька. Пучки звуковых волн, попав на их поверхность, отражаются не направленно, а рассеянно, никогда не фокусируясь в пространстве после отражения от оболочки. |  (интернет-ресурс arhplan)  (иллюстрация авторов) |

**Заключение**

Таким образом, современная архитектура концертного зала прекрасна и выразительна именно тогда, когда включает в себя инновационные решения формообразования, содержит в себе элементы архитектуры будущего, но в то же время имеет исторический контекст. С момента открытия Берлинской филармонии началась новая эпоха создания сложных криволинейных форм. В настоящий момент возможности проектирования внешнего и внутреннего пространства в концертных залах совершенствуется за счёт внедрения «оболочек», которые формируют пластику архитектурного сооружения. Необходимо и дальше внедрять данные элементы в композицию здания, но также уделять большое внимание связи формы и акустики в концертном зале, так как это играет ключевую роль в создании комфортных условий для проведения концертов разных жанров.

**Список библиографических ссылок**

1. Beranek L. L. Concert hall design: new findings // Proceedings of the Institute of Acoustics. 2014. № 3 (36). P. 1–21.
2. Barron M. Auditorium acoustics and architectural design. E&FN Spon, 1993. 464 p.
3. Крамер А. Ю. Концертный зал как архитектурный объект в культурном пространстве // Вестник Русской христианской гуманитарной академии. 2015. № 1. С. 345–353.
4. Long M. Architectural acoustics. Elsevier, 2006. 844 p.
5. Ермакова Е. В. Открытие нового подхода к определению формы концертного зала с появлением Берлинской филармонии архитектора Ганса Шаруна : сб. ст. XV Международной научно-практической конференции им. В. Татлина / ПГУАЗ. Пенза, 2019. С. 53–57.
6. Стригалев А. А. Возвращение к экспрессионизму (Ганс Шарун) // Архитектура Запада, 1972. С. 166–186.
7. Jablonska J., Trocka-Leszczynska E., Tarczewski R. Sound and architecture-mutual influence // Energy Procedia. 2015. № 78. P. 31–36.
8. Берлинская филармония и Зал Камерной музыки (арх. Ганс Шарун). Часть I // Истории дизайна и архитектуры. 2012. URL: https://archistory.livejournal.com/92294.html (дата обращения: 19.06.2019).
9. Сухопутный корабль // Архитектура. 2018. URL: https://archi.ru/world/81612/sukhoputnyi-korabl (дата обращения: 21.06.2019).
10. «Стеклянная кора» – оболочка покрытия концертного зала в Зарядье // Объекты. UPL: https://rflira.ru/services/objects/474/ (дата обращения: 21.06.2019).
11. Krivoshapko S. N., Ivanov V. N. Encyclopedia of Analytical surfaces. Springer International Publishing Switzerland, 2015. 752 p.
12. Коротич А. В. Инновационные решения архитектурных оболочек: альтернатива традиционному строительству // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 2015. № 4. С. 70–75.
13. Taylor L., Claringbold D. Acoustics of the Sydney Opera house concert hall. Part One: The Client's Perspective // Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA. 2010. P. 1–8.

**Ermakova Evgenia Vladimirovna**
architect
E-mail: evgenia.er@mail.ru
**LLC «Architecture and cultural policy»**
The organization address: 115054, Russia, Moscow, Kosmodamianskaya nab., 52/10
**Rynkovskaya Marina Igorevna**
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: marine_step@mail.ru
**People's Friendship University of Russia**
The organization address: 117198, Russia, Moscow, Miklukho-Maklaya st., 6

## Formation of shell's plasticity in the concert hall

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is the consideration of the evolution of the shape of the concert hall from rectangular to complex configuration associated with the appearance of the Berlin Philharmonic, its progressive complexity and introduction of such architectural systems as «shell», which is currently widely used in the interior and exterior of the spectacular building, contributing to the formation of plasticity of architectural structures.

*Results.* The most important stages in the development of the audience space of the concert hall are identified; the classification of the most used shells and the identification of the role of these systems in the composition of the building are made.

*Conclusions.* The significance of the results for the architecture is to further improve the process of shaping the concert hall with the introduction of shells of simple and complex geometry.

**Keywords:** shaping, concert hall, shells, plasticity.

### References

1. Beranek L. L. Concert hall design: new findings // Proceedings of the Institute of Acoustics. 2014. № 3 (36). P. 1–21.
2. Barron M. Auditorium acoustics and architectural design. E&FN Spon, 1993. 464 p.
3. Kramer A. Y. Concert hall as an architectural object in the cultural space // Vestnik Russkoy khristianskoy gumanitarnoy akademii. 2015. № 1. P 345–353.
4. Long M. Architectural acoustics. Elsevier, 2006. 844 p.
5. Ermakova E. V. Opening of a new approach to determining the shape of the concert hall with the advent of the Berlin Philarmonic architect Hans Scharoun : proceedings of the XV International scientific and practical conference. V. Tatlin / PGUAS. Penza, 2019. P. 53–57.
6. Strigalev A. A. The return to expressionism (Hans Scharoun) // Arkhitektura Zapada, 1972. P. 166–186.
7. Jablonska J., Trocka-Leszczynska E., Tarczewski R. Sound and architecture-mutual influence // Energy Procedia. 2015. № 78. P. 31–36.
8. Berlin Philharmonic and Chamber Music Hall (arch. Hans Scharoun). Part I // History of design and architecture. 2012. URL: https://archistory.livejournal.com/92294.html (reference date: 19.06.2019).
9. Land-ship //Architecture. 2018. URL: https://archi.ru/world/81612/sukhoputnyi-korabl (reference date: 21.06.2019).
10. «Glass bark» – cover of the concert hall in Zaryadye // Objects. UPL: https://rflira.ru/services/objects/474/ (reference date: 21.06.2019).
11. Krivoshapko S. N., Ivanov V. N. Encyclopedia of Analytical surfaces. Springer International Publishing Switzerland, 2015. 752 p.
12. Korotich A. V. Innovative solutions of architectural shells: alternative to traditional building construction // Akademicheskij vestnik URALNIIPROEKT RAASN. 2015. № 4. P. 70–75.
13. Taylor L., Claringbold D. Acoustics of the Sydney Opera house concert hall. Part One: The Client's Perspective // Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA. 2010. P. 1–8.

УДК 7.2.1
**Минабутдинова Алсу Раилевна**
архитектор
E-mail: m.alsu95@bk.ru
**ООО «Аксиом Архитект»**
Адрес организации: 420103, Россия, г. Казань, ул. Ф. Амирхана, д. 14б
**Агишева Инга Назимовна**
кандидат архитектуры, профессор
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

# Принципы формирования трансформируемого жилого пространства

**Аннотация**

*Постановка задачи.* В данной статье рассматривается актуальность трансформации жилого пространства на основе принципов и анализа современного опыта проектирования и строительства, приводятся основные приемы архитектурной трансформации и выявляются особенности, влияющие на изменения жилого пространства.

*Результаты*. Основные результаты исследования состоят в выявлении общих принципов формирования трансформируемого жилого пространства.

*Выводы*. Значимость полученных результатов исследования для архитектуры состоит в создании нового типа жилья – современного, динамичного, инновационного. Применение трансформации в жилье может рассматриваться как метод изменения объемно-планировочного решения в зависимости от требований, функциональных процессов, условий и создания устойчивой архитектуры.

**Ключевые слова:** архитектура, трансформация, жилое пространство, адаптация, гибкость.

## Введение

На сегодняшний день архитектура идет вперед и, чем дальше, тем больше раскрывается потенциал инновационных, технологических возможностей, которые способствуют развитию строительства новых типов зданий и сооружений. Одной из таких современных возможностей является трансформация. Трансформация – это видоизменение, превращение, перестраивание, преобразование, изменение конфигураций, каких-либо существенных форм.

Характерной чертой трансформации архитектуры является обеспечение ее адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации и требованиям к архитектурно-планировочной организации. Трансформация зданий и сооружений происходит в течение очень длительного периода времени. Даже здания, которые не предназначены для дальнейшей трансформации, со временем могут быть перестроены для приспособления новых функций.

Трансформацию можно определить как систему, которая предназначена для выбора на этапе проектирования жилых зданий, а также для использования в течение всей своей жизни. Гибкость и трансформация одни из важнейших факторов в проектировании жилья, если оно будет социально-, экономически и экологически жизнеспособным. Жилье может расти и уменьшаться со временем, в зависимости от различных потребностей и обстоятельств. По мере роста домашнего хозяйства или домашнего бизнеса можно арендовать дополнительное пространство, если таковое имеется.

Теме трансформации архитектуры посвящено немало работ, как отечественных, так и зарубежных исследователей: Лисициан М.В., Пашковский В.Л., Петунина З.В., Карасёв Н.Н., Jeremy T., Tatjana S., Анисимов Л.Ю., Pawson J., Steane M., Saleh J.H., Lamassoure E.S., Hastings D.E., Newman D.J. и др. [1-5].

## Жилая трансформация

Можно утверждать, что одной из важнейших обязанностей архитектуры в постоянно меняющемся мире является создание среды, которая может предоставить

возможность пользователям расширить свои творческие, социальные, экологические и эстетические знания. Среда навязывает человеку свои программы поведения, которые, в свою очередь, вызывают переживания человека, связанные со средой, проявляющиеся на бессознательном уровне: контроль над средой, возможность самореализации [6]. Совершенно очевидно, что архитекторы могут играть важную роль в этом вопросе, проектируя пространства, в которых возможно взаимодействие среды и пользователя. Такая архитектура выходит за рамки своей основной задачи: предоставление убежища для своих пользователей и подтверждает общеизвестное утверждение о том, что «архитектура сама по себе не является целью» [7]. Ключевые потребности архитектуры в меняющемся мире – это изменения потребностей пользователей и предоставление им возможности испытать свои архитектурные амбиции в реальности через участие в процессе архитектурного проектирования. Трансформируемость может рассматриваться как важный способ реагировать на амбиции жителей. Проектирование и заложенный в нем трансформируемый сценарий может быть неотъемлемой частью взаимодействия с жителями в пространстве. Это дает возможность участия в изменении жизни и того, что окружает. По мнению голландского архитектора Хермана Херцбергера, архитектором считается тот, кто может «способствовать созданию среды, которая предлагает гораздо больше возможностей и вариантов для людей, чтобы сделать их личную жизнь максимально комфортной, приватной, меняющейся и преобразовывающейся. Важно дать каждому возможность выразить то, что не определяется, но остается скрытым по отношению к использованию пространства» [3].

Архитектура сегодня должна обеспечивать интерактивную среду, в которой пользователи, развивая свое воображение и творчество, могут сами контролировать и перепроектировать свое окружение на основе личных требований. Идея трансформации может переопределить идентичность современной архитектуры таким образом, чтобы она могла более эффективно адаптироваться к требованиям нового пользователя. Определение архитектуры, по мнению Ле Корбюзье, гласило, что это «машина для жизни» [8]. И данная цитата имеет больше смысла в трансформируемой архитектуре. Значение слова машина обозначает функциональность, регулярность, эффективность и мобильность, которые могут быть объединены с существующими ценностями, идеями творчества в трансформируемых зданиях. Следовательно, трансформируемая архитектура не только рассматривается как машина, она ценится за ее эстетические и художественные характеристики, которые достигается путем преобразования.

В ходе анализа научной литературы выявлены следующие принципы формирования трансформируемого жилого пространства:

- принцип пространственного расширения;
- принцип многофункциональности пространства;
- принцип сезонности и времени;
- принцип адаптивности.

**Принцип пространственного расширения**

Особенностью трансформируемой архитектуры является преобразование, изменение конфигурации планировок и пространств здания в течение определенного времени (ежедневного, периодического) при помощи трансформирующихся систем, оборудования, которые также предоставляют возможность вернуть измененную конфигурацию в исходное положение в соответствии с потребностями людей и требованиями функциональных процессов.

Принцип пространственного расширения включает изменения размеров и площадей пространств, вызванные ростом семьи, появлением потребностей в жилье на рабочем месте, социально-экономическим положением. Возможности, которые включены в проект здания и его участка, являются одним из способов расширения пространства. Это рациональные ресурсы пространства по высоте и площади, запасы прочности конструкций, крепежи дополнительных конструкций, запасы инженерных систем. Расширение жилища может происходить путём настраивания или пристраивания к существующему объёму дополнительной конструкции. Однако для эффективного использования резервов (конструктивных, технологических, пространственных)

необходимо интегрировать в структуру существующего объема. Например, место для парковки автомобиля или неотапливаемая терраса могут быть преобразованы в отапливаемое помещение с другой функцией [4].

Изменение планировки в рамках имеющихся площадей может трансформироваться:

- За счет трансформации вертикальных плоскостей (вертикальные плоскости могут быть подвижными и изменять пространство с целью эстетического, функционального и экономичного использования в одно и то же время, чтобы максимально задействовать пространство, которое отвечает растущим потребностям жителей).

- За счет трансформации горизонтальных плоскостей и уровней (гибкость в горизонтальных плоскостях и уровнях используется для получения соответствующих внутренних пространств, позволяет контролировать пространство и экономическую эффективность, которая достигается в удовлетворении многочисленных потребностей в одном едином пространстве, поскольку это снижает требуемую площадь участка) [1].

Гибкость и изменение конфигурации в жилом пространстве отвечает новым тенденциям. Небольшая по площади квартира может иметь множество вариантов использования. Так, в Германии в городе Бремер было спроектировано доступное жилье, с разнообразной конфигурацией жилых пространств (рис. 1).

Рис. 1. Модульное жилье из дерева (Германия, Бремен, 2017 г., арх. Lin Architects Urbanists):
а) Фасад здания; б) Интерьер здания; в) Разновидность планировок
(https://www.archdaily.com/870720/bremer-punkt-lin-architects-urbanists)

Здание спроектировано как модульная сборная система. Эта система предоставляет гибкие возможности для конкретных нужд людей и отвечает индивидуальным требованиям. Дома могут адаптироваться к различным комбинациям квартир, площади, циркуляции, фасада и формы здания. Простой модуль куба 13,5×13,5 м объединяет в себе больше 20 вариантов планировок квартир.

**Принцип многофункциональности пространства**

Интеграции различных функциональных процессов в едином недифференцированном пространстве возможны благодаря трансформирующемся системам. Пространство может разграничиваться за счет элементов мебельного оборудования и мобильных плоскостей (вертикальных, горизонтальных). Это позволяет жильцу, в соответствии с потребностями, определять сценарий преобразования и самому формировать функциональную программу жилья. Многофункциональность пространства позволяет совмещать как жилые, так и не жилые функции (жилье-офис, жилье-мастерская, жилье-ателье). Это возможно за счет площадей жилых пространств – приспособление любой функции и устранение иерархии между ними (посредством чего спальня может перенестись на учебу и т.д.) или через концепцию – пространство, как универсальный контейнер, где адаптируются объекты, которые организованы движущимися стенами или мебелью (шкафы, стеллажи и т.д.). Это создает пространственную и функциональную реорганизацию всего жилого пространства, благодаря смещению оборудованных стен, мебели или сборных модульных конструкций. Это решение эффективно, особенно в небольших помещениях, где разделение сделано с помощью мобильного оборудования, которое позволяет пользователю использовать одно и то же пространство по-разному [2].

В Гонконге и Токио, где места крайне мало и цены на него очень высоки, лишь немногие мыслители пытались спроектировать крошечную и плотную квартиру с гибкими стенами и мебелью, которая может обеспечить множество конфигураций. В конце концов, пространства переменных размеров в соответствии с потребностями жильца. Среди них проект «Внутренний трансформатор» архитектора Гари Чанга из Гонконга – это размышляющее дизайнерское решение для будущей практики проживания в городе с высокой плотностью населения (рис. 2).

Рис. 2. Жизнь в 32 м$^2$. Внутренний трансформатор. Разновидность планировок.
(Китай, Гонконг, 2010 г., арх. Гари Чанг)
(http://2.bp.blogspot.com/-gSDuvtpNgcs/UXwd1RGPaLI/NE/bpUHjSAG9kk/s1600/8.jpg)

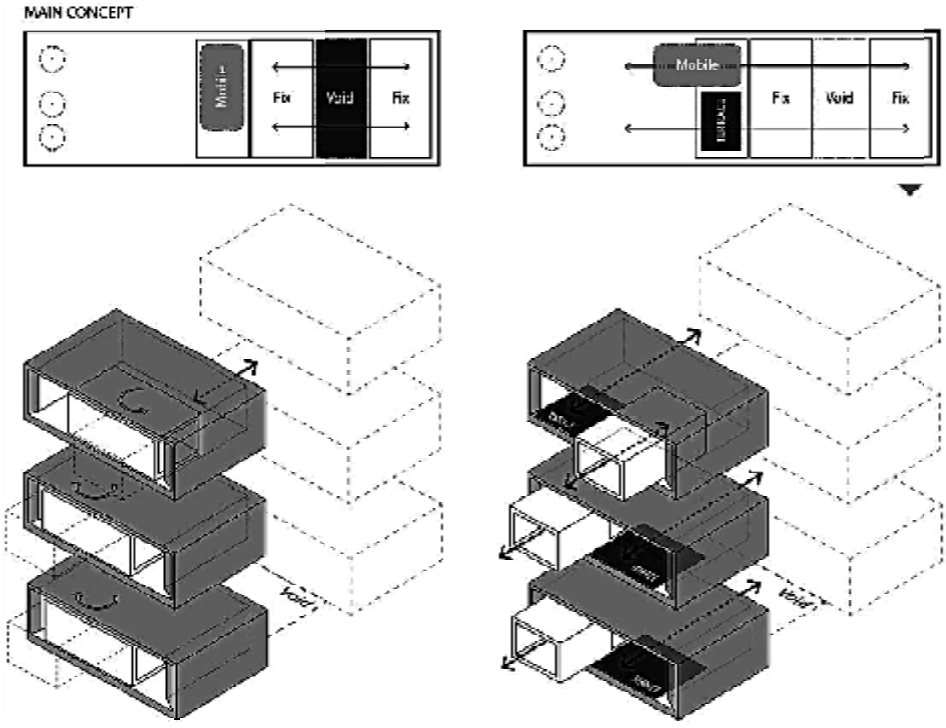
Гари Чанг спроектировал квартиру площадью 32 м$^2$. Квартира, которая может быть превращена в двадцать четыре различных пространства с различными функциями, выполняющими все бытовые процессы, просто раздвигая и складывая мебель, панели и стены с разнообразным пространством.

**Принцип сезонности и времени**

Гибкость и преобразование жилого пространства зависит не только от социального, экономического положения, потребностей людей, но и от времени суток, времени года, климатических условий и месторасположения здания. Климатические условия могут играть важную роль в формировании архитектурного пространства, чтобы оно

приспосабливалось к любым погодным условиям. Преобразовываться может, как экстерьерная часть здания, так и интерьерная. Здание может иметь множество конфигураций, вместо одного статичного для определенного климата местности. Так, например, в Тегеране появился уникальный дом Sharifi-ha House, спроектированный студией Nextoffice, который меняет свою конфигурацию, создавая летом более прохладное, тенистое жилье, а в зимнее время позволяет увеличить количество солнечного света (рис. 3).

а)




б)

Рис. 3. Sharifi-ha House (Иран, Тегеран, 2013 г., арх. NextOffice-Alireza Taghaboni):
а) Экстерьер дома; б) Схема трансформации (https://www.archdaily.com/522344/sharifi-ha-house-nextoffice/53bbe737c07a80377200031f-sharifi-ha-house-nextoffice-second-floor-plan)

В основе концепции проекта Sharifi-ha House лежат гибкость и отсутствие жесткой структуры. Дом располагает тремя комнатами, которые можно поворачивать на 90 градусов, чтобы открывать виды на широкие террасы во время жаркого лета в Иране, и повернуть обратно в горизонтальное положение, чтобы поддерживать тепло в доме в холодную и снежную, зимнюю погоду. Каркасная основа и чередование пустот и дополнительных объемов, заложенные в проект, способны выдвигаться и задвигаться попеременно. Из-за различных конфигураций, которые могут принимать поворотные

«боксы», расчет нагрузки был оценен на основе максимально возможного значения, примененного к системе. Кроме того, управление вероятными вибрациями для предотвращения структурной деформации в поворотных коробках было принято во внимание при проектировании дома.

В этом проекте проблемы концепций приватной и открытой типологии привели к захватывающей пространственной трансформации постоянно меняющегося жилого здания. Традиционная иранская архитектура по-новому интерпретировалась, сочетая в себе комфортные условия во все времена года.

Также дом адаптируется к функциональным потребностям своих пользователей. Например, в зависимости от того, есть гость или нет, гостевая комната, расположенная на втором этаже, может быть перенастроена для разных целей. Аналогичным образом, домашние офисы и комнаты для завтрака (комнаты для переодевания на первом и третьем этажах) могут изменить формальность своего внешнего вида в соответствии с желаниями их жителей. Другими словами, всегда есть возможность иметь разные сезонные или световые сценарии, некоторые из которых уже были учтены в проекте [9].

**Принцип адаптации**

Адаптируемая архитектура разработана, чтобы приспособиться к различным функциональным процессам, потребностям, поведениям, технологиям, для полноценного осуществления желаемой среды обитания. Здания, имеющие одну конкретную цель, могут работать для всех процессов. Эту архитектуру иногда называют открытым зданием со свободным пространством, которое может быть легко адаптировано в соответствии с требованиями в любой период времени [10].

Процесс изменений может быть непрерывным и постоянным, так как он вовлекает участников во взаимодействие и достижение желаемого пространства. Этот процесс считается самым важным атрибутом адаптируемой архитектуры. Трансформация возможных вариантов дает свободу пользователям, и жители самостоятельно следуют по функциональному сценарию. Выбор сделан в пользу технологических инноваций, которые могут улучшить функциональные характеристики пространства жилья. В то же время технологические достижения позволяют создавать самооптимизирующиеся здания. Важно учитывать адаптируемую среду, сформированную с учетом приспособления для различных групп населения, в том числе для людей с ограниченными возможностями. Так, на примере дома «Мезон Бардо», Рем Колхас спроектировал дом для человека, который, по его желанию, соответствовал его физическим ограничениям, но в то же время был домом для всей семьи. Колхас предложил дом, который представлял собой совокупность трех уровней, сложенных друг на друге; каждый со своими уникальными характеристиками и пространственной обусловленностью [11].

Рис. 4. Дом «Мезон Бардо». Подъемник с офисом (Франция, Бордо, 1998 г., арх. OMA Рем Колхас) (https://architime.ru/specarch/oma_and_arup/maison_bordeaux.htm#1.jpg)

Даже при отсутствии дублированной или повторяющейся организационной системы все три уровня связаны между собой центральным лифтом, который перемещается между этажами. Тем не менее, это не просто лифт для вертикальной циркуляции между этажами, он маскируется офисом, который обеспечивает доступ ко всему дому от кухни, нижнего уровня, вплоть до спальни на верхнем этаже. Лифт приводился в действие большим гидравлическим поршнем, который поднимал и опускал комнату при необходимости (рис. 4).

Эта гениальная идея создать комнату, которая способна перемещаться вертикально через дом, создает пространственный динамизм внутри дома, который постоянно меняет и переопределяет пространство офиса, а также пространство, где он останавливается. Тем самым показывая, что архитектурное пространство может создавать адаптируемую среду обитания.

«Мезон Бардо» остается сейчас частным домом, соответствуя технологическим возможностям архитектуры, которая еще раз подтверждает фразу «дом – машина для жизни».

**Заключение**

Жилье как наиболее консервативная сфера архитектурной деятельности в современной практике подвергается экспериментальному поиску новых принципов. Современные требования динамики жизни диктуют условия, в которых архитектура должна выступать в роли режиссера, определяющего не только начальные условия формообразования, но и весь процесс, в котором работа с объектом разворачивается во времени. И таким объектом сценария может быть трансформация. Трансформация – это изменение конфигурации пространства путем раздвигающихся, поворачивающихся или поднимающихся, опускающихся систем, которые возможно быстро и легко вернуть в исходное положение. Это подчеркивает качество многофункциональности пространств, позволяющее совмещать различные функциональные процессы как жилые, так и не жилые в соответствии с требуемой площадью пространств, наличием конструктивных систем нужного объема и габаритов, необходимых для конкретных задач.

Трансформация обеспечивает возможность адаптировать архитектурное пространство к быстроменяющимся потребностям человека и общества [5].

Мир вокруг нас меняется. Быстро развивающиеся строительные технологии и новые здания, материалы приносят революционные изменения в архитектурный мир, позволяя фантазии «плавать» наряду с воображением. То, что раньше было немыслимо, обретает форму и развивается на наших глазах, указывая на иной способ мышления о том, как нам жить. Все эти аспекты нашего постоянно меняющегося мира, наряду с огромной скоростью ускорения в развитии высоких технологий означают, что интерес к трансформируемой архитектуре неуклонно растет. Это предполагает использование системы для создания новых архитектурных моделей. Эти модели становятся частью технологического подхода к современному архитектурному проектированию, благодаря применению принципов трансформации.

## Список библиографических ссылок

1. Лисициан М. В., Пашковский В. Л., Петунина З. В. Архитектурное проектирование жилых зданий. М. : Архитектура-С, 2009. 488 с.
2. Карасёв Н. Н. Мобильные здания и комплексы на основе открытых конструктивных систем. М. : Стройиздат, 1987. 58 с.
3. Jeremy T., Tatjana S. Flexible housing: the means to the end // Researchgate.net : ежедн. интернет-изд. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/232093564.
4. Анисимов Л. Ю. Адаптируемость архитектурной формы как один из аспектов повышения энерго и ресурсоэффективности жилища // Архитектура и строительство. 2009. № 6 (37). С. 17–24.
5. Saleh J. H., Lamassoure E. S., Hastings D. E., Newman D. J. Flexibility and the Value of On-orbit Servicing: New Customer-Centric Perspective // Spacecraft and Rockets. 2003. № 2 (48). P. 279–291.

6. Короткова С. Г. Ментальная структура города как основа городской эстетики (на примере города Казани) : сб. ст. научных трудов IV Международной научно-практической конференции / КФУ. Казань, 2015. 238 с.
7. Вариативность и трансформация конструкций // Mirznanii.com : ежедн. интернет-изд. 2015. URL: http://mirznanii.com/a/216909/variativnost-i-transformatsiya-konstruktsiy (дата обращения: 30.03.2019).
8. Зайцев В. Н., Фрязинов В. В. Ле Корбюзье. Архитектура XX века. М., 1977. С. 10.
9. Sharifi-ha House. Next Office – Alireza Taghaboni // Dezeen.com : электронный журнал. 2019. URL: https://www.dezeen.com/2014/08/22/rotating-rooms-sharifi-ha-house-next-office-tehran-iran/ (дата обращения: 04.04.2019).
10. Larissa A. Flexible architecture for the dynamic societies // Reflection on a Journey from the 20th Century into the Future. 2012. P. 24.
11. Maison à Bordeaux // Insideoutside.nl: электронный ресурс. 2016. URL: https://www.insideoutside.nl/Maison-a-Bordeaux (дата обращения: 20.05.2019).

**Minabutdinova Alsu Railevna**
architect
E-mail: m.alsu95@bk.ru
**LTD «Axiom Architect»**
The organization address: 420103, Russia, Kazan, F. Amirkhan st., 14b
**Agisheva Inga Nazimovna**
candidate of architecture, professor
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## Principles of forming a transformable living space

**Abstract**

*Problem statement.* In this article, the relevance of the transformation of living space is considered on the basis of the principles and analysis of modern design and construction experience, the main techniques of architectural transformation are outlined and features that affect living space changes are identified.

*Results.* The main results of the research consist of identifying the general principles of the formation of a transformable living space.

*Conclusions.* The significance of the obtained research results for architecture consists in the creation of a new type of housing – a modern, dynamic, innovative. The use of transformation in housing can be considered as a method of changing the space-planning solution, depending on the requirements, functional processes, conditions and the creation of a sustainable architecture.

**Keywords:** architecture, transformation, living space, adaptation, flexibility.

## References

1. Lisitsian M. V., Pashkovsky V. L., Petunina Z. V. Architectural design of residential buildings. M. : Architecture-C, 2009. 488 p.
2. Karasev N. N. Mobile buildings and complexes based on open structural systems. M. : Stroyizdat, 1987. 58 p.
3. Jeremy T., Tatjana S. Flexible housing: the means to the end // Researchgate.net : internet-edit. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/232093564 (reference date: 15.03.2019).
4. Anisimov L. Adaptability of the architectural form as one of the aspects of increasing the energy and resource efficiency of the dwelling // Architecture and Construction. 2009. № 6 (37). P. 17–24.

5. Saleh J. H., Lamassoure E.S., Hastings D. E., Newman D. J., Critical Perspective: New Customer-Centric Perspective // Spacecraft and Rockets. 2003. № 2 (48). P. 279–291.
6. Korotkova S. G. Mental structure of the city as the basis of urban aesthetics (on the example of the city of Kazan) : dig. of art. IV International Scientific Practical Conference / KFU. Kazan, 2015. 238 p.
7. Variability and transformation of structures // Mirznanii.com: daily. internet-edit. 2015. URL: http://mirznanii.com/a/216909/variativnost-i-ransformatsiya-konstruktsiy (reference date: 03.30.2019).
8. Zaitsev V. N., Fryazinov V. V. Le Corbusier. The architecture of the XX century. M., 1977. P. 10.
9. Sharifi-ha House. Next Office – Alireza Taghaboni // Dezeen.com : electronic journal. 2019. URL: https://www.dezeen.com/2014/08/22/rotating-rooms-sharifi-ha-house-next-office-tehran-iran/ (reference date: 04.04.2019).
10. Larissa A. Flexible architecture for the dynamic societies // Reflection on the Journey from the 20th Century into the Future. 2012. 24 p.
11. Maison à Bordeaux // Insideoutside.nl: an electronic resource. 2016. URL: https://www.insideoutside.nl/Maison-a-Bordeaux (reference date: 05.20.2019).

УДК 72.012
**Рихерт Анна Эдуардовна**
архитектор
E-mail: anna.rikhert@gmail.com
**ООО «Аксиом Архитект»**
Адрес организации: 420103, Россия, г. Казань, ул. Ф. Амирхана, д. 14б
**Агишева Инга Назимовна**
кандидат архитектуры, профессор
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

# Идентичность в архитектуре и градостроительстве как ключевой фактор развития исторического города

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Каждый город уникален. Профессионалам современности необходимо определить вектор развития исторических городов. Статья посвящена исследованию идентичности горожанина, идентичности города, как наиболее актуального вопроса современности. Рассмотрены такие определения как город, культура, культура города, как основные движущие силы для развития исторических городов.

*Результаты*. Анализ теоретических исследований позволил выявить факторы, влияющие на идентичность горожанина. Особое внимание уделяется взаимодействию вышеупомянутых факторов, предложена их характеристика. Также разработаны основы идентификации территории или города. Описаны основные методы организации объемно-пространственной структуры для будущего развития исторических городов.

*Выводы*. Значимость полученных результатов исследования для архитектуры состоит в расширении знаний в области архитектурного своеобразия. Дальнейшие разработки в контексте идентичности архитектуры могут опираться на опыт теории и практики в поисках национально-регионального своеобразия Казани.

**Ключевые слова:** идентичность, своеобразие, факторы, житель, культура, архитектура.

## Введение

Каждый город уникален своей историей, культурой и образом жизни. В свою очередь культура – мощное средство управления городами. Также как совокупность архитектурных мотивов культура играет ключевую роль в стратегии редевелопмента, которая строится на идее сохранения исторического наследия [1].

Именно поэтому современные исторические города находятся в условиях конкуренции за привлечение ограниченных ресурсов (социальные, экономические и прочие виды ресурсов), создания репутации города и бренда места [2], которые, в свою очередь, раскрывают потенциал города, как точки притяжения туристов и новых жителей, влекут инвестиционное развитие, рост самого города или территории.

Термин «идентичность» появился в теоретических архитектурных исследованиях из культурологии, а в нее перешел из психологии. В 1970-х годах известный психолог и психоаналитик Э. Эриксон применил термин «идентичность» в изучении психологии человека. Сегодня этот термин используют представители разных профессий и наук. Наиболее близким определением к архитектуре становится «культурная идентичность». Культурная идентичность – принадлежность индивида к какой-либо культуре или культурной группе, формирующая целостное отношение человека к самому себе, другим людям, обществу и миру в целом [3].

Несомненно, жители разных городов отличаются друг от друга, как и жители разных стран. У каждого народа своя культура (традиции, обычаи, уклад жизни и др.). Город несет в себе совокупность смыслов, которая может вызвать целый набор представлений: история, мифы, притчи, личности, состояние ума, набор обычаев и традиций. Изучением городского пространства и поиском перспективных исследований

занимались на каждом этапе развития исторического становления общества. Наиболее значимы работы таких исследователей как Аристотель, Ф. Ратцель, К. Маркс, М. Вебер, К. Зитте, Ле Корбюзье, Глазычев В.А. и Иконников А.В. По мнению американского социолога Ансельма Стросса, все эти представления не возникают мгновенно, а становятся результатом длительных процессов, в ходе которых каждое новое поколение горожан добавляет новые элементы или корректируются старые [4]. Какова же идентичность городского жителя, какие факторы влияют на горожанина, который, издревле формировал свою среду обитания.

**Идентичность жителя**

Как правило, люди не живут изолированно. Они концентрируются в поселениях, где на ограниченной территории компактно размещены дома, места работы, учебы, магазины, банки и т. п. Человеческие поселения занимают очень маленькую долю от площади Земли (около 1 %), но оказывают огромное влияние на экономику и культуру, являясь центрами инноваций [5].

В основном, жилая застройка – место постоянного притяжения для каждого горожанина. Макс Фрай, размышляя о своеобразии городов [6] описывает характеристики горожан как сказочные, построенные на смешении впечатлений и легенд, мифов и фантастики, при этом архитектура городов даже не упоминается. Тем самым писатель подчеркивает исключительную роль жителей, их быта и привычек в восприятии города, его образа в представлении путешественника [3].

Человечеству свойственна эволюция. Меняются люди, их мысли, образ жизни, меняется и сам город. Поэтому поиск идентичности города или территории стоит начать с идентичности горожанина или пользователя территории, и, конечно, факторов, которые влияют на самого человека.

1. Экономика. Экономический фактор связан с уровнем развития промышленности, самостоятельной экономической деятельностью.

2. Политика. Данный фактор определяется полномочиями и пределами самостоятельности законодательной власти. Столичные города получают определенные свободы. Кроме того, для столичных городов характерен плюрализм позиций и мнений [7].

3. Культура подразумевает доступность культурных продуктов, учреждений и уровня интереса к различным культурным событиям. К культуре также относятся ментальность, образ жизни, значимые мероприятия, язык, кухня, одежда и прикладное искусство.

4. К территории относятся такие определения, как: ландшафт, рельеф, водоемы и ресурс территории. Под ресурсом территории понимается доступность образовательных и других интеллектуальных услуг.

5. Климат. Географическое положение. Природа.

6. Архитектура – здания, сооружения и их составляющие: организация внутреннего и внешнего пространств, особенная цветовая палитра и текстура. Организация пространства – размер, этажность, характер застройки, маршруты пешеходов. К этому пункту также относится признак комфортности, под которым подразумевается наличие жизненных удобств, благоустройство среды и организация транспорта.

7. Технологии. Насыщение городской среды медийными технологиями обостряет эрозию связи между местом и идентичностью, делает городские формы все менее устойчивыми [8].

8. История – исторические события, отраженные в сознании жителя определенного поселения [7].

Все вышеперечисленные факторы взаимосвязаны, на основе чего, можно проследить, каким образом все эти факторы влияют на человека, определить идентичность жителя деревни, села, города или страны.

Ознакомившись со схемой (рис. 1), можно сделать вывод о том, что культура – не что иное, как наиболее влиятельный фактор. Культура – предмет общего пользования, общественное благо, основа экономического роста и средство формирования ландшафта. Культура, вероятно, – это то, что у городов получается лучше всего. Культуры городов, безусловно, включают в себя этничность, различные стили жизни и образы, если принять во внимание высокую концентрацию всевозможных меньшинств, доступность и

разнообразие потребительских товаров, и распространение стиля через СМИ (средства массовой информации). Города являются центрами культурной индустрии, где художники, дизайнеры, артисты производят и продают плоды своего творчества. Города также становятся галереей визуальных образов, формирующих язык общественной культуры. Ландшафт и язык улиц – вызов одних и ответ других социальных групп.

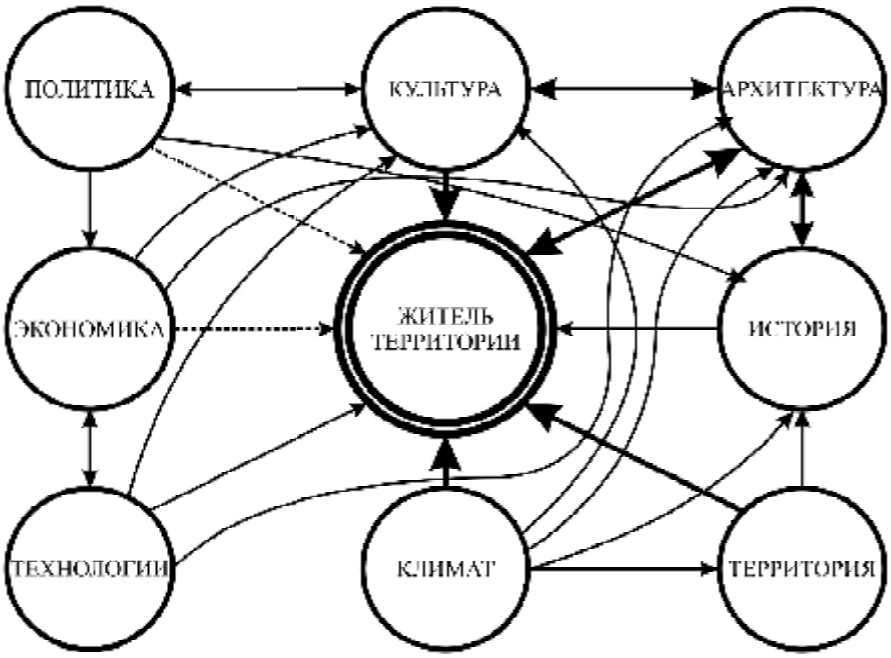



Рис. 1. Схема факторов формирования идентичности жителя, и их взаимодействия (иллюстрация авторов)

**Идентичность города**

В том, что города – образования индивидуальные, никакого сомнения быть не может. Символичность города обретает свое материальное воплощение не только в постройках и сокровищах искусства, но также и, прежде всего, в традициях «изящных производств», создаваемых человеком. Те же, кто уже унаследовал город, предъявляют свои права на его центральные символические пространства. И не только на главные улицы, на которых проводят парады и шествия, не только центральные парки, но и на монументальные комплексы, подтверждающие идентичность через визуальное доказательство присутствия той или иной группы в истории [1].

При всем этом культуры городов еще сохраняют остатки памяти о толерантности и свободе [1]. Само разнообразие населения и необходимость культурного и экономического обмена являются условиями, в которых создаются непредсказуемые пространства свободы: рынки, ресторанные кухни, достопримечательности и разного рода парады и шествия, которые одновременно становятся местами производства и визуальными выражениями новых идентичностей. Такой город любят и оберегают.

Противоречия между производством символов путем сохранения исторических зданий и производством пространства путем спекулятивного строительства становятся все более острыми. Современным городам необходима идентичность для дальнейшего развития, в котором большую роль играет архитектура. Проблема идентичности архитектуры может трактоваться как проблема поиска возможностей и механизмов, палитры средств, способствующих сохранению или рождению идентичности [3]. Собрав факторы идентификации горожанина, можно предположить, что именно определяет своеобразие города, как совокупности архитектурных сооружений (рис. 2).

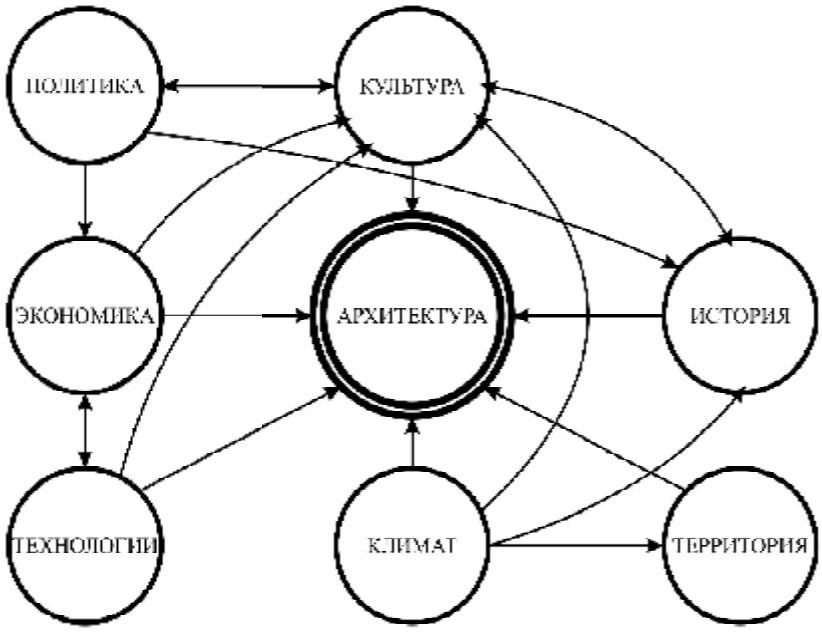



Рис. 2. Схема факторов формирования своеобразия города, и их взаимодействия (иллюстрация авторов)

По результатам исследований, проведенных группой специалистов (культуролог, социолог, психолог, историк, экономист, политолог, архитектор, градостроитель), можно определить своеобразие того или иного места. Найдя идентичность города, специалисты начинают думать о стратегии его развития, о потенциале города, о том, что необходимо горожанам, и, безусловно, о способах внедрения полученного результата в ткань, жизнь города.

Понятие «бренд города» появилось из термина «бренд места». Идентичность города может быть основана на существующих преимуществах города или может быть выращена искусственно. Существует 5 типов брендов города и территорий: исторически-культурный, туристический, промышленный, религиозный и этнографический.

Брендинг территорий призван аккумулировать факторы городского развития. Исследования по выявлению бренда территории позволяют определить центральный элемент, поддерживающий нормальное функционирование всех составляющих города, создавать актуальный имидж города, который можно конвертировать в доходы [9]. Исходя из анализа особенных характеристик места, объекта, сооружения или города появляется логотип или бренд места, который становится объектом маркетинговых методов [10].

Современный исторический город – не застывший музей оживших эпох, а развивающийся организм, в котором есть место для прошлого, настоящего, и для будущего. Различие музея и заповедного места в том, что в музее символы показаны и демонстрируются как якобы уже опознанные и освоенные познанием, символы города и камня существуют в иной, менее прозрачной форме постижения. Но в современных мегаполисах индивидуальность сохраняется только локально, чаще всего, в центральном районе, а на перифирии она стирается и становится всеобще неразличимой застройкой. Так, по мнению А. Раппорта, эта застройка уже не входит в тело города, как не входит она и в его судьбу – это просто наросты в организме, которые не значат уже почти ничего, если не считать, что они условно обозначают «современность» (принадлежность к повседневной суете и необходимость малого времени) [11].

**Приемы идентификации архитектуры**

Выдающиеся здания и характерная именно для этого города застройка, ее облик, тепло, и уют могут обеспечить идентичность. Для разработки концепций развития территории необходимо провести анализ, по итогам которого дизайнеры, архитекторы и градостроители могут выявить ряд особенностей, повышающих узнаваемость места, создающих впечатление целостности. Сложившаяся городская застройка, в которой

сформированы композиционно-стилевые архетипы, диктует свои условия пространственного развития и функционального наполнения. Этим, в том числе, объясняется интерес заказчиков и проектировщиков к возрождению образов прошлого [3].

Что же касается анализа, морфологического подхода и самой методологии выявления типов городской среды, то они требует совершенствования и развития. В методологии анализа могут быть учтены такие качества как информативность, символичность, семантика различных участков. Анализ и выявление типов городской среды – это более крупное градостроительное зонирование. На уровне города в целом целесообразно выделять три основные зоны: историческую, контактную или буферную и зону новых жилых районов. Анализ застройки по приведенным выше критериям позволяет сохранить от сноса кварталы так называемой рядовой застройки, обладающие градостроительной ценностью [12]. Типология среды основана на следующих признаках, которые определяют своеобразие: временных и целостных; структурно-функциональных; планировочных (планировка живописная, регулярная, радиально-кольцевая и т.п.); пространственных (стиль, этажность, капитальность зданий; система застройки; внутренние и внешние пространства, эстетика); масштабных (крупность членений, соразмерность человеку).

Принципы сохранения, восстановления или преобразования среды могут быть разнообразными и реализоваться в зависимости от нынешнего состояния. Так, в случае частичного разрушения исторической среды могут осуществляться следующие мероприятия: ремонт (новые функции здания при старом фасаде); сохранение расположения и объема (новые функции, способы строительства, современный внешний вид, старый тип застройки); новая среда сомасштабная рядовой застройке и доминантам. Один из ярких примеров регенерации исторической среды демонстрирует город Тбилиси. Здесь объектом регенерации стал весь старый город – район Кала и часть исторического ядра на левом берегу. В основу концепции легли принципы сохранения, восстановления и преемственности. Однако в наиболее полном объеме работы по комплексному развитию архитектурно-пространственной среды исторической части города проведены в Таллине. Выработка научных основ, позволяющих сохранить ценные исторические особенности города, потребовала всестороннего комплексного исследования. Старый город был исследован как единый историко-градостроительный комплекс, было изучено градостроительное формирование исторического ядра методом ретроспективного наложения исторических планов на геоподоснову, дополненную архивными материалами, что позволило выяснить важнейшие причины территориального и планировочного формирования [12].

Кроме того, для воссоздания утраченного облика и атмосферы актуальны такие приемы как использование исторической символики, использование элементов малых архитектурных форм (мощение, фонари, решетки, скульптуры и др.). Все чаще становятся популярными различные версии стрит-арта. Стрит-арт стал индустрией «образного наполнения застройки» [3] и имеет свою функцию в процессе реорганизации общественных пространств [13] (рис. 3).

Рис. 3. Стрит-арт. Бульвар в спальном районе г. Казань, ул. Фучика (http://park.tatar/kazan_fuchica)

Нельзя не отметить метод соучаствующего проектирования, где жители города ставят цели и задачи, а принятие решений делегируют специалистам. Основное достоинство этого подхода заключается в его потенциале к преодолению привычных границ между разными профессиями и культурами. В настоящее время соучаствующее проектирование применяется в дизайне городской среды, градостроительном планировании, сборе геоданных, а также в сфере промышленных и информационных технологий. Привязанность горожан к определенным местам их коммуникаций может вдохновить людей на действия, так как люди будут мотивированы на защиту и облагораживание значимых для них мест [14]. Данный метод уже практикуется не только в США, Мексике и Бразилии, но и в нашей стране, так в 2016 году «Проектная группа 8» проводила программу «Арт-Двор» в г. Выкса, где жители дворов активно вовлекались в процесс строительства и самостоятельно подготовили праздничные мероприятия на открытие арт-дворов. Предложенные архитекторами решения базировались на анализе предложений жителей двора, взятых за основу в качестве народного технического задания. Эскизные проекты также обсуждались и корректировались вместе с жителями. По итогам данной программы получилось разработать и реализовать программу соучаствующего проектирования, включающую серию встреч и поэтапную работу и разработать проекты, основанные на сценариях использования территорий [15].

В исторических городах необходимо разнообразие подходов к размещению, к стилистике новых зданий, их масштабу и этажности, допуская при этом появление в историческом центре уникальных современных зданий, впечатляющих новизной архитектурной и конструктивной мысли [16].

Градостроительное планирование держится на том, что вычленяет особенности города и вырабатывает предложения по организации городского пространства, ориентирующегося на них [4]. Использование результатов научных исследований в проектировании позволяет, на стадии генерального плана, закладывать основы гармоничного и преемственного развития объемно-пространственной среды исторических городов. При этом решаются такие основные задачи как сохранение исторического наследия, преемственное развитие планировочной структуры, обеспечение гармоничного сочетания исторической и новой застроек [12].

Таким визуальным стратегиям, как сохранение исторического облика, можно придать политический характер и использовать как средство развития района. Это также предполагает, что культура, как средство материального управления символическими ресурсами, может стать, в конечном счете, общественным благом.

**Заключение**

Дух места определяется как материальные и нематериальные, физические и духовные элементы, которые придают территории ее индивидуальный характер, смысл, эмоциональность, таинственность. Дух создает пространство, и в то же время, пространство создает и структурирует этот «дух» [17]. Все те объекты, которые когда-либо были дарованы культурой, постоянно находятся в спящем режиме, ожидая возрождения, ожидая, когда их старая ценность будет использована для установления новой ценности в новой рыночной ситуации [18].

В статье рассмотрены такие определения как город, культура, культура города, как основные движущие силы для развития исторических городов.

Результатом становится анализ теоретических исследований, который позволил выявить факторы (история, культура, территория, экономика, политика, архитектура, климат и технологии), влияющие на идентичность горожанина, который издревле формировал пространство своей среды обитания. Особое внимание уделяется взаимодействию вышеупомянутых факторов, предложена их характеристика. Также разработаны основы идентификации территории или города. Описаны основные методы организации объемно-пространственной структуры для будущего развития исторических городов: метод анализа, метод соучаствующего проектирования, средовой подход.

Город как среда очень разнообразен, и в разных аспектах выделяются соответствующие особенности функционирования жителей и возможности для

формирования и усиления их территориальной идентичности. Важно определить составляющие идентичности, которые раскрывают потенциал города и определяют вектор его дальнейшего развития. Определение уникального своеобразия города поможет привлечь инвестиции.

## Список библиографических ссылок

1. Зукин Ш. Культуры городов. М. : Новое литературное обозрение, 2015. 419 с.
2. Федотова Н. Г. Формирование городской идентичности. Факторный и институциональный аспекты // Журнал социологии и социальной антропологии. 2017. Том XX. № 3. С. 32–49.
3. Есаулов Г. В. Об идентичности в архитектуре и градостроительстве // Научный журнал «Academia. Архитектура и строительство». 2018. С. 12–18.
4. Беринг Х., Лёв М. Собственная логика городов: Новые подходы к урбанистике. 2-е изд. М. : Новое литературное обозрение, 2018. 424 с.
5. Разница между городом и деревней // The Difference.ru : интернет-изд. 2016. URL: https://thedifference.ru/chem-otlichaetsya-gorod-ot-derevni/ (дата обращения: 03.04.2019).
6. Фрай М. Ветры, ангелы и люди. М. : АСТ, Времена 2, 2015. 416 с.
7. Дягилева Н. С. Теоретические аспекты городской идентичности // Электронный научный архив УрФУ. 2007. URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/22420/1/geobrand-2013-12.pdf (дата обращения: 31.03.2019).
8. Скотт Маккуайр. Медийный город. Медиа, архитектура и городское пространство. М. : Strelka Press, 2014. 392 с.
9. Скалкин А. А. Понятие идентичности и факторы ее формирования // Международный электронный сетевой научно-образовательный журнал «Architecture and modern information technologies». 2017. URL: https://marhi.ru/AMIT/2017/4kvart17/PDF/05_skalkin.pdf (дата обращения: 03.04.2019).
10. è Bologna. Progetto City Branding // Issuu: Digital Publishing Platform for Magazines, Catalogs, and more. 2015. URL: https://issuu.com/urbancenterbologna/docs/q2_bologna_city_branding_web_bassa (дата обращения: 07.04.2019).
11. Раппорот А. После Мегаполиса. Екатеринбург : TATLIN, 2015. 96 с.
12. Соколов Л. И. Центр города – функции, структура, образ. М. : Стройиздат, 1992. 352 с.
13. JBRock: «Стрит-арт имеет свой потенциал и функцию в процессе реогранизации городов» // BERLOGOS: Интернет-журнал о дизайне и архитектуре. 2018. URL: http://www.berlogos.ru/interview/jbrock-strit-art-imeet-svoj-potencial-i-funkciyu-v-processe-reorganizacii-gorodov/ (дата обращения: 07.04.2019).
14. Санофф Г. Соучаствующее проектирование. Практики общественного участия в формировании среды больших и малых городов. Вологда : Проектная группа 8, 2015. 170 с.
15. Программа Арт-Двор фестиваля Арт-Овраг 2016 // 8architects.com : Проектная группа 8. 2016. URL: https://www.8architects.com (дата обращения: 07.04.2019).
16. Айдарова (Айдарова-Волкова) Г. Н. Проблемы и методология сохранения историко-культурного наследия Казани // Гуманитарные науки в XXI веке. 2014. URL: https://humanist21.kgasu.ru/files/N1-Aydarova.pdf (дата обращения: 07.04.2019).
17. Квебекская декларация по сохранению духа места // Икомос Спб. 2008. URL: http://icomos-spb.ru/component/joomdoc/2008_%20%20%20%20%20.pdf/download (дата обращения: 01.04.2019).
18. About Us: Architecture and Collective Identity in the Contemporary City // Issuu: Digital Publishing Platform for Magazines, Catalogs, and more. 2017. URL: https://issuu.com/argusnightofphilosophy/docs/about_us_2017 (дата обращения: 03.04.2019).

**Rikhert Anna Eduardovna**
architect
E-mail: anna.rikhert@gmail.com
**LTD «Axiom Architect»**
The organization address: 420103, Russia, Kazan, F. Amirkhan st., 14b
**Agisheva Inga Nazimovna**
candidate of architecture, professor
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenya st., 1

## Identity in architecture and town planning as a key factor in the development of a historic city

**Abstract**

*Problem statement.* Each city is unique. Modern professionals need to determine the vector of development of historical cities. The article is devoted to the study of the identity of the citizen, the identity of the city, as the most pressing issue of our time. Such definitions as the city, culture, culture of the city, as the main driving forces for the development of historical cities are considered.

*Results.* An analysis of theoretical studies revealed factors affecting the identity of a city dweller. Particular attention is paid to the interaction of the above factors, their characteristics are proposed. Also the basics of identifying developed a territory or city. The basic methods of organizing the volume-spatial structure for the future development of historical cities are described.

*Conclusions.* The significance of the research results for architecture consists in the expansion of knowledge in the field of architectural originality. Further developments in the context of architecture identity can be based on the experience of theory and practice in the search for the national and regional identity of Kazan.

**Keywords:** identity, originality, factors, resident, culture, architecture.

## References

1. Zukin S. Urban Culture. M.: New Literary Review, 2015. 419 p.
2. Fedotova N. G. Formation of urban identity. Factor and institutional aspects. // Zhurnal sotsiologii i sotsial'noy antropologii. 2017. Vol. XX. № 3. P. 32–49.
3. Esaulov G. V. On identity in architecture and urban planning // Scientific journal «Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo » 2018. URL: http://aac.raasn.ru/article/ download/87/55/ (reference date: 04.03.2019).
4. Bering H., Leo M. Own logic of cities: New approaches to urban studies. 2nd ed. M.: Novoye literaturno obozreniye, 2018.442 p.
5. The difference between town and country // The Difference.ru: daily. internet-edit. 2016. URL: https://thedifference.ru/chem-otlichaetsya-gorod-ot-derevni/ (reference date: 04.03.2019).
6. Fry M. Winds, angels and people. M. : AST, Vremena 2, 2015. 416 p.
7. Dyagileva N. S. Theoretical aspects of urban identity // Elektronnyy nauchnyy arkhiv UrFU. 2007 // URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/22420/1/geobrand-2013-12.pdf (reference date: 03.31.2019).
8. Scott McQuire. Media City. Media, architecture and urban space. M. : Strelka Press, 2014. 392 p.
9. Skalkin A. A. The concept of identity and the factors of its formation // International electronic network scientific and educational journal «Architecture and modern information technologies». 2017. URL: https://marhi.ru/AMIT/2017/4kvart17/PDF/05_ skalkin.pdf (reference date: 04.03.2019).

10. è Bologna. Progetto City Branding // Issuu: Digital Publishing Platform for Magazines, Catalogs, and more. 2015. URL: https://issuu.com/urbancenterbologna/docs/q2_bologna_city_branding_web_bassa (reference date: 04.07.2019).
11. Rapporot. After the Metropolis. Ekaterinburg : TATLIN, 2015. 96 p.
12. Sokolov L. I. Center of the city – functions, structure, image. M. : Stroyizdat, 1992. 352 p.
13. JBRock: «Street art has its potential and function in the process of urban re-organization» // BERLOGOS: internet-magazine on design and architecture. 2018. URL: http://www.berlogos.ru/interview/jbrock-strit-art-imeet-svoj-potencial-i-funkciyu-v-processe-reorganizacii-gorodov/ (reference date: 04.07.2019).
14. Sanoff G. Participative design. Practices of public participation in shaping the environment of cities and towns. Vologda : Project Group 8, 2015. 170 p.
15. Program Art-Yard of the Art-Ovrag Festival 2016 // 8architects.com: Project Team 8. 2016. URL: https://www.8architects.com (reference date: 07.04.2019).
16. Aidarova (Aidarova-Volkova) G. N. Problems and methodology of preservation of Kazan historical and cultural heritage // Gumanitarnyye nauki v XXI veke. 2014. URL: https://humanist21.kgasu. ru/files/N1-Aydarova.pdf (reference date: 07.04.2019).
17. Quebec Declaration on the Conservation of the Spirit of the Place // Ikomos St. Petersburg. 2008. URL: http://icomos-spb.ru/component/joomdoc/2008_%20%20%20%20%20.pdf/download (reference date: 04.01.2019).
18. About Us: Architecture and Collective Identity in the Contemporary City // Issuu: Digital Publishing Platform for Magazines, Catalogs, and more. 2017. URL: https://issuu.com/argusnightofphilosophy/docs/about_us_2017 (reference date: 04.03.2019).

УДК 712.25
**Исмагилова Светлана Харисовна**
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: grado@kgasu.ru
**Залетова Елена Александровна**
старший преподаватель
E-mail: salen07@mail.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
**Корягина Алина Евгеньевна**
архитектор
E-mail: koryagina.alina@mail.ru
**ООО Инженерный Центр «Заман»**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Айвазовского, д. 10/54

# Приемы архитектурно-градостроительной реконструкции центра малого города на примере г. Чистополь

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью статьи является выявление путей преобразования и обновления архитектурно-пространственной среды центральной части г. Чистополя, направленных на удовлетворение новых социальных потребностей жителей, при условии сохранения ценного историко-культурного и архитектурного наследия города.

*Результаты*. В результате исследования выявлены и проанализированы основные предпосылки архитектурно-градостроительного преобразования исторического центра г. Чистополь. В статье приводятся результаты комплексной оценки сложившегося состояния функционально-пространственной организации центральной части города, выявлены характерные особенности рассматриваемой территории, определяющие своеобразие архитектурного облика центра г. Чистополь.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительной теории состоит в представлении комплекса приемов архитектурно-планировочной реконструкции центра г. Чистополь, которые направлены, как на сохранение исторически сложившегося облика города, так и на разработку проектных предложений по дальнейшему его развитию.

**Ключевые слова:** малый город, реконструкция, центральная историческая часть города, функционально-пространственная организация.

## Введение

Необходимость постоянного обновления и преобразования городской среды, вызванная изменениями условий жизни общества и ростом потребностей в улучшении качества городского окружения, является неотъемлемой частью устойчивого развития любого современного города. Это приводит к систематическому проведению реконструктивных мероприятий различного градостроительного характера – от корректировки планировочной структуры города и целостных градостроительных образований до обновления и замены отдельных зданий и сооружений [1]. Среди актуальных задач процесса реконструкции следует отметить проблематику преобразования центров малых городов, сохранивших исторически ценную застройку, обновление которой должно ориентироваться не только на повышение качества городского окружения, но и на сохранение и приспособление исторической среды к новым требованиям. Многие малые города страны, в условиях современных социально-экономических изменений, утратили прежний потенциал развития, переживают отток социально-активного населения, испытывают недостаток средств на развитие городской инфраструктуры. Однако, при этом, малые городские поселения сохраняют особенности традиционной культуры, природную привлекательность, являются условием сохранения экологического равновесия на региональном уровне. Многие из малых городов сформировались на основе исторически

сложившихся поселений и, продолжая развиваться, сохраняют ценную застройку и архитектурно-планировочную структуру прошлых веков [2].

В республике Татарстан примером такого города является Чистополь с населением в 60 тыс. жителей, который отличается ярко выраженными особенностями исторического развития – примечательными ландшафтными условиями, наличием памятников истории и архитектуры, сохранившейся архитектурно-планировочной структурой центральной части города. При этом – это развивающийся в социально-экономическом отношении город, испытывающий потребность в обновлении сложившейся городской среды. Проблема несоответствия сложившегося городского окружения растущим потребностям населения наиболее четко выражена в его центральной исторической части, где пересекаются требования к обновлению имеющейся городской среды при обеспечении сохранности ценного архитектурного и культурного наследия.

**Градостроительное развитие центра Чистополя**

Исторически сложившееся село Чистое Поле обрело статус уездного города в конце 18 века, выбор которого в качестве центра крупного уезда свидетельствовал о выгодном географическом размещении поселения на Каме. В течение 19 века город целенаправленно развивался по единой градостроительной схеме и, существенно увеличив территорию, застраивался по регулярной системе планировки. В данный период формируется его центральная зона, представлявшая характерный образец зажиточной купеческой застройки в виде домовладений с линейно расположенными вдоль улиц каменными жилыми зданиями с дворами и хозяйственными постройками. Заметный экономический и культурный статус города в данный период подтверждается обширным общественным строительством, в котором принимали участие известные архитекторы П.Г. Пятницкий, И.П. Бессонов, Ф.И. Петонди. В 20 веке, коренные изменения социальной и экономической структуры государства, характерные для советского периода, трансформировали характер использования исторического центра города. При сохранении сложившейся архитектурно-пространственной структуры центра, существенным образом изменилась функциональная и социальная основа рассматриваемого пространства.

В настоящее время центральная часть города располагается в пределах исторически сложившихся границ с тенденцией дальнейшего её территориального развития в сторону р. Камы. Площадь центральной исторической зоны без учета примыкающей прибрежной территории составляет 88,7 га. Для современного этапа развития исторического центра города характерно более интенсивное использование территории за счет концентрации функций административно-делового и обслуживающего характера и усложнения пространственных решений. При этом также наблюдается тенденция его территориально-пространственного развития, а именно, наряду с общегородским историческим центром в городе формируются и локальные центры – по улицам Энгельса и 40 лет Победы, в которых концентрируются объекты повседневного и периодического характера. Территориальная дифференциация центра обусловлена необходимостью обеспечения увеличения количества общегородских функций и характером территориального роста города. Тенденция формирования полицентрической системы центра Чистополя позволит приблизить центральные функции к местам размещения периферийных жилых районов и снизит значительную часть транспортной нагрузки на территорию исторического центра. В соответствии с действующим Генпланом города центральный исторический район должен получить свое развитие за счет дальнейшей интенсификации сложившегося использования территории путем ликвидации малоценной ветхой застройки, максимального использования первых этажей жилой застройки, уплотнения кварталов существующей застройки и пр. [3].

Наряду с отмеченными выше направлениями развития центра, представленными Генпланом, отмечена перспективная необходимость развития рекреационно-туристической инфраструктуры в г. Чистополе. Актуальность данного направления развития города обоснована «Программой развития туризма в Чистопольском муниципальном районе», которая была разработана в соответствии с Государственной программой развития культуры и туризма в РФ. Постановка данной задачи несомненно

вызовет необходимость проведения мероприятий по реконструкции центра города и совершенствование соответствующей инфраструктуры обслуживания [4].

С целью выявления сложившихся особенностей функционально-планировочной организации центральной части г. Чистополя, оценки качества современного состояния, а также выявления предпосылок для реконструкции было проведено комплексное исследование, включающее пофакторую оценку территории, состоящую из следующих этапов:

- анализ состояния застройки центра города, произведенный по критериям капитальности, физического и морального износа показал значительную долю застройки относящейся к категории ветхой, сохранение которой нецелесообразно. В среднем ветхая застройка на рассматриваемой территории составляет 35 % .При этом, наибольшая часть ветхих зданий, требующих сноса сосредоточена в центрально размещенных кварталах исторической зоны и там же находится наибольшее число зданий, требующих реконструкции и ремонта;

- анализ жилого фонда территории центральной части города, произведенный по критериям, определяющим право собственности на земельные участки показал, что наибольший процент территорий, являющихся собственностью муниципалитета, относится также к центрально размещенным кварталам исторической зоны и составляет 45 %;

- историко-архитектурный анализ показал наличие обширного состава объектов историко-культурного и архитектурного наследия, сосредоточенных в центральной части Чистополя, имеющих различные ценностные характеристики – от памятников архитектуры и истории и исторических объектов, не имеющих статуса памятников, поддерживающих масштабно-стилистические характеристики среды до нейтральных сооружений, не представляющих историко-культурного интереса;

- анализ характера использования территории центра Чистополя позволил выявить ведущие группы функций и их распределение в пространстве. Так жилая зона распределена неравномерно и сосредоточена в периферийных частях центра, занимая до 80 % территории. В центрально размещенных кварталах доля жилой застройки составляет 35 % и здесь же сосредоточена основная часть общественно-деловой застройки;

- анализ сложившейся системы культурно-бытового обслуживания, произведенный на основе сравнения имеющегося состава обслуживающих объектов с нормативными показателями позволил выявить, как недостаток объектов первичного звена – детских садов и школ, а также недостаток учреждений общегородского уровня – спортивных сооружений, гостиниц, учреждений культуры – библиотек, досуговых центров, музеев и пр.;

- анализ системы озеленения центральной части города, показал, что при достаточной сбалансированности соотношения открытых озелененных и застроенных пространств, уровень ландшафтного благоустройства недостаточен;

- анализ сложившейся инфраструктуры рекреационно-туристического обслуживания показал, что несмотря на то, что Чистополь обладает значительным потенциалом для формирования туристического кластера, обладая богатыми природными условиями и уникальным историко-культурным наследием, а также стабильно высоким уровнем туристических посещений, необходимого уровня для решения задач рекреационно-туристического обслуживания недостаточно;

- анализ транспортно-пешеходных связей центра Чистополя показал, что исторически сложившаяся прямоугольная сетка улиц, разделяющая территорию центра на масштабные кварталы размером 2-4 га, обеспечивает удобные пешеходные и транспортные сообщения, как внутри рассматриваемой зоны, так и с периферийными зонами города.

В результате проведенного комплексного исследования центральной исторической зоны Чистополя были выявлены следующие функционально-планировочные особенности рассматриваемой территории, которые определяют своеобразие его архитектурного

облика и должны быть учтены при разработке проектных предложений по его реконструкции[1]. Это:

1. Доступность объектов городского обслуживания: торговли, городской администрации, культуры, образования, компактно сосредоточенных в пределах исторической зоны. При этом следует отметить необходимость дальнейшего усиления качества центральности рассматриваемой территории за счет внедрения новых объектов общественного назначения, мест приложения труда, обеспечения разнообразия типологии общественной и жилой застройки.

2. Стилистическая целостность среды, сохраняющая образ купеческой застройки малого города рубежа 19-20 вв., что находит выражение в силуэте застройки, этажности, масштабности городского окружения. Однако, значительная часть имеющегося фонда объектов исторического, культурного и архитектурного наследия требует комплексного решения задач реконструкции и реставрации [5].

3. Достаточное количество открытых озелененных территорий в пределах центральной зоны, ориентация главных уличных пространств в сторону реки Камы. Однако сложившаяся система озеленения центра требует качественного переустройства путем создания привлекательных и разнообразных общественных пространств, архитектурно-ландшафтного благоустройства, озеленения, включения элементов городского дизайна, выявления семантических качеств, присущих городу.

4. Полифункциональность исторического центра, являющегося средоточием не только городских общественных объектов, но также включающего жилье и обслуживание первого звена. При сохранении исторически сформировавшегося принципа смешанного функционального использования территории центра требуется дальнейшее его развитие, как за счет внедрения новых объектов общегородского обслуживания, так и путем строительства нового жилья и учреждений первичного обслуживания: школ и детских садов.

5. Сохранение исторической архитектурно-планировочной структуры центра в виде системы масштабных кварталов, соответствующих статусу малого города. При этом внутриквартальная функционально-пространственная организация исторического центра требует перепланировки с учетом необходимости устранения пустующих территорий, уплотнения жилого фонда и благоустройства.

6. Организация полноценной инфраструктуры туристического обслуживания путем строительства нового и реконструкции существующего гостиничного фонда, формирования и пространственного обустройства туристических маршрутов и реконструкции объектов туристического посещения в пределах исторической зоны [6].

Выявленные особенности функционально-пространственной организации центральной исторической зоны г. Чистополя были положены в разработку проектного предложения по его архитектурно-градостроительной реконструкции (рис.). Проектное предложение включает реновацию территории центрального исторического ядра площадью 101 га, в границах улиц Бутлерова, Маркса, Вахитова, Ленина, Октябрьская и Нариманова и с учетом включения примыкающей прибрежной территории. Основная идея реорганизации планировочной структуры центра базируется на принципе сохранения исторически сформировавшегося периметра застройки, образующего фасадную часть кварталов и включения новой жилой застройки во внутриквартальные пространства путем формирования небольших дворовых территорий, сходных по масштабу с историческими домовладениями. Дополнительным средством планировочного структурирования застройки исторических кварталов явилось создание внутриквартальной системы озелененных коммуникаций и микросадов, предназначенных, как для пешеходного транзита, объединяющего соседние улицы центра, так и для внутриквартальных рекреаций. Проектное предложение также предусматривает разработку фрагмента прибрежной зоны, которая обеспечивает связь центральных кварталов с главной ландшафтной доминантой города – рекой Кама, где предлагается размещение рекреационно-гостиничного центра и прибрежного городского парка.

[1]Подробные результаты исследования приведены в работе на соискание степени магистра Корягиной А.Е. «Архитектурно-градостроительная реконструкция центра малого города на примере г. Чистополь» 2019 г. Научный руководитель Исмагилова С.Х.

а) б)

Рис. Исследуемая территория центральной зоны г. Чистополя (иллюстрация автора);
а) Комплексная аналитическая схема; б) Проектное предложение

**Пути планировочной реорганизации центральной части г. Чистополя**

Основные способы преобразования и развития архитектурно-пространственной структуры центра города, полученные на основе обобщения результатов проектного предложения:

1. Модернизация сохраняемой исторической застройки, расположенной вдоль улиц по периметру кварталов центральной зоны, предусматривающая капитальный ремонт и обеспечение современным инженерным оборудованием, перепланировку зданий в соответствии с новым функциональным назначением, сохранение и восстановление исторического облика зданий, декоративных элементов фасадов и малых архитектурных форм.

2. Включение новых жилых зданий в структуру исторических кварталов за счет использования глубинных пространств, освобождаемых от ветхой застройки. В существующую сетку исторических кварталов встраиваются масштабные жилые группы с благоустроенным дворовым пространством, планировочное построение которых подобно историческим домовладениям.

3. Расширение состава центральных функций за счет вытеснения нецентральных в периферийные районы города. Изменение функционального использования территории центра должно осуществляться без существенного преобразования объемно-пространственных параметров застройки – путем использования первых этажей исторического периметра и модернизации существующих общественных зданий.

4. Включение в застройку новых общественных объектов, общегородского и местного уровня, не нарушающих исторической целостности среды, путем регулирования высотных характеристик и стилистических решений.

5. Разукрупнение некоторых кварталов с целью обеспечения пешеходной проницаемости и связности центра путем создания внутриквартальных пешеходных коммуникаций, рекреационных и накопительных пространств – площадок и скверов, совмещенных с системой пешеходных связей.

6. Создание устойчивой и многоуровневой системы озеленения центра путем реконструкции существующих зеленых объектов, рекультивации бросовых пространств – пустырей, прибрежных территорий, внедрение в структуру кварталов малых озелененных территорий, предназначенных для жителей кварталов, создание внутриквартального линейного озеленения для пешеходного транзита [7].

**Заключение**

Малые города призваны стать одним из важнейших факторов сдерживания неконтролируемого разрастания мегаполисов и условием формирования устойчивого равновесия на уровне территориальных систем расселения[2]. Актуальность вопросов реконструкции малых городов и их центров связана с общей проблемой обеспечения их устойчивого развития, когда социальное, экономическое, физическое развитие гарантируется на длительный период наличием всего спектра ресурсов, в том числе экологических [8].

Представленные в статье результаты направлены на определение методических подходов к градостроительной реорганизации центральной исторической зоны малого города на примере г. Чистополя. Для разработки научно-обоснованных рекомендаций по выявлению функционально-пространственных приемов реконструкции центральной части города был проведен комплексный анализ исторического центра, основанный на многофакторной оценке сложившегося состояния планировки и застройки территории, результаты которого позволили выявить характерные особенности исторического центра, определяющие специфику архитектурно-градостроительной ситуации центра города. Представленная проектная апробация иллюстрирует способы применения теоретических выводов в архитектурно-планировочном обновлении центральной части малого исторического города на примере Чистополя [9, 10].

**Список библиографических ссылок**

1. World Commission on Environment and Development, WCED. Our Common Future. URL: http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm (дата обращения: 20.05.2019).
2. Трубина Е. Г. Город в теории: опыты осмысления пространства. М., 2011. 250 с.
3. Генеральный план муниципального образования г. Чистополь. URL: http://www.chistopol.tatarstan.ru/generalniy-plan.htm (дата обращения: 16.05.2019).
4. Стратегия социально-экономического развития РТ г. Чистополь. URL: http://chistopol.tatarstan.ru (дата обращения: 16.06.2019).
5. David B. Small Cities: urban experience beyond the metropolis. Routledge, 2006. 201 p.
6. Набиуллина К. Р. Управленческие инновации при реализации проектов формирования комфортной городской среды (на примере республики Татарстан) // European Social Science Journal. 2017. № 6. С.129–134.
7. Danilo Palazzo, Frederick Steiner. Urban ecological design: a process for regenerative places. Island Press, 2012. 295 p.
8. Dennis Rodwell. Conservation and sustainability in historic cities. Blackwell Publishing Ltd, 2007. 262 p.
9. Mahtab Zaman, Igea Troiani. Transdisciplinary Urbanism and Culture. Springer International Publishing AG, 2018. 232 p.
10. Mike Lydon, Anthony Garcia. Tactical urbanism. Island Press, 2015. 255 p.

**Ismagilova Svetlana Kharisovna**
candidate of architecture, associate professor
E-mail: grado@kgasu.ru
**Zalyotova Elena Alexandrovna**
senior lecturer
E-mail: salen07@mail.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Koryagina Alina Evgenievna**
architect
E-mail: koryagina.alina@mail.ru
**LTD Engineering Center «Zaman»**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Aivazovskogo st., 10/54

[2]Статья Исмагиловой С.Х., Залетовой Е.А. «К вопросу градостроительного развития малого города», опубликованная в научном журнале «Известия КГАСУ», 2016. № 4. С. 162–164.

## Methods of architectural and urban reconstruction of the center of the small city on the example of Chistopol

**Abstract**

*Problem statement.* The aim of the article is to reveal the ways of transformation and the updating of the architectural and spatial environment of the central part of Chistopol directed to satisfaction of new social needs of inhabitants on condition of preservation of valuable historical, cultural and architectural heritage of the city.

*Results.* As a result of a research the main assumptions of architectural and urban transformation of the historic center of Chistopol are revealed and analyzed. There are given the results of complex assessment of the developed condition of the functional and spatial organization of the central part of the city, the characteristics of the considered territory defining an identity of architectural appearance of the center Chistopol are revealed.

*Conclusions.* The significance of the received results for architectural and urban theory consists in presentation of a complex of methods of architectural and planning reconstruction of the center of Chistopol which are directed, both to maintaining the historical image of the town, and the planning strategies on its further development.

**Keywords:** small city, reconstruction, the central historical part, functional & spatial reorganization.

### References

1. World Commission on Environment and Development, WCED. Our Common Future. URL: http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm (reference date: 20.05.2019).
2. Trubina E. G. City in theory: space comprehension experiments. M., 2011. 250 p.
3. The general plan of the municipality Chistopol. URL: http://www.chistopol.tatarstan.ru/generalniy-plan.htm (reference date: 16.05.2019).
4. Strategy of socio economical development of Chistopol. URL: http://chistopol.tatarstan.ru (reference date: 16.06.2019).
5. David B. Small Cities: urban experience beyond the metropolis. Routledge, 2006. 201 p.
6. Nabiullina K. R. Management innovations at implementation of projects of formation of the comfortable urban environment (on the example of the Republic of Tatarstan) // European Social Science Journal. 2017. № 6. P. 129–134.
7. Danilo Palazzo, Frederick Steiner. Urban ecological design: a process for regenerative places. Island Press, 2012. 295 p.
8. Dennis Rodwell. Conservation and sustainability in historic cities. Blackwell Publishing Ltd, 2007. 262 p.
9. Mahtab Zaman, Igea Troiani. Transdisciplinary Urbanism and Culture. Springer International Publishing AG, 2018. 232 p.
10. Mike Lydon, Anthony Garcia. Tactical urbanism. Island Press, 2015. 255 p.

УДК 624.012.35/45
**Замалиев Фарит Сахапович**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: zamaliev49@mail.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

# К расчету анкерных связей сталежелезобетонных конструкций

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – оценка напряженно-деформированного состояния контакта слоев составного сечения и предельной несущей способности и гибких анкерных связей, наиболее используемых в сталежелезобетонных конструкциях.

Поставлена задача на основе анализа технической отечественной и зарубежной литературы выявить несущую способность наиболее используемые анкерных связей в гражданском строительстве. Записать новые аналитические выражения для оценки несущей анкерного стержня.

*Результаты*. Основные результаты исследований состоят из определения ряда положений прочности и деформативности, в выявлении напряженного состояния контактного шва «сталь-бетон» сталежелезобетонных изгибаемых элементов и оценка их несущей способности и сравнения результатов.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении напряженно-деформированного состояния контактного шва сталежелезобетонного элемента. Результаты исследований, аналитические выражения оценки прочности контактного шва сталежелезобетонных изгибаемых элементов могут быть использованы при возведении ребристых плит и балок новых зданий в сталежелезобетонном, деревобетонном, сборно-монолитном железобетонном вариантах и при восстановлении перекрытий зданий, отслуживших свой нормативный срок эксплуатации.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонные конструкции, анкерные связи, прочность анкера, аналитические зависимости.

## Введение

В конструкциях композитного сечения, каковыми являются сталежелезобетонные балки, перекрытия со стальными ребрами-балками, обеспечение надежной совместной работы бетонной плиты со стальным ребром является одной из главных задач. Анкерные элементы разных конструктивных форм находящиеся между двумя разномодульными слоями, одновременно и в теле бетонной плиты, необходимы для передачи сдвигающих усилий между слоями. Напряженно-деформированное состояние, оценка их прочности очень важно для эффективности использования сталежелезобетонных конструкций на действие эксплуатационных нагрузок.

В данной статье предлагаются аналитические зависимости для учета растяжения и изгиба в работе стад-болтов и наклонных «П»-образных хомутов, применяемых в Европейских странах и вертикальных анкеров из рифленой арматуры, применяемых в отечественном строительстве [1-21].

## Обзор литературы

Анкерные связи, наиболее широко используемые в сталежелезобетонных конструкциях, – это упоры в пролетных строениях мостов (СП 46.13330.2012 Мосты и трубы. Правила проектирования. – М., 2012), в гражданском строительстве – стад-болты (Eurocode 2: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules for buildings / The European Union Per Regulation 305, 2011. – p. 118), наклонные хомуты [1], в отечественном строительстве очень часто применяют рифленые арматурные стержни, приваренные к верхнему поясу стального ребра (Замалиев Ф.С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228). Сдвигающие усилия между слоями композитного сечения в упорах воспринимаются в основном бетоном плиты за счет его смятия, стад-болты и анкерные арматурные стержни (Замалиев Ф.С. К расчету сопряжения плиты с балкой в

сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228) работают в основном на изгиб, а на контакте с бетоном происходит смятие последнего, наклонные хомуты [1] в основном работают на растяжение.

В зависимости от соотношения длины и диаметра для вертикальных анкеров круглого сечения их несущую способность по бетону наши отечественные нормы предлагают определять (СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. – М., 2016, 123 с.) по следующим выражениям:

$$P_{rd} = 0{,}24 l d_{an} \sqrt{10 R_b} \quad \text{для } 2{,}5 \le l/d \le 4{,}2, \tag{1}$$

$$P_{rd} = d_{an}^2 \sqrt{10 R_b} \quad \text{для } l/d \ge 4{,}2; \tag{2}$$

- по материалу стального анкерного стержня:

$$P_{ан} = 0{,}063 d_{an}^2 \gamma_c R_y. \tag{3}$$

Несущая способность наклонного анкера из арматурной стали круглого сечения или одинаковые ветви анкера в форме хомута источник (СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. – М., 2016, 123 с.) предлагает определять по формуле:

$$P_{an} = 0{,}1 A_{an} \gamma_c R_y \cos\alpha + d_{an}^2 \sqrt{10 R_b \sin\alpha}. \tag{4}$$

Еврокод предлагает учитывать работу анкера на растяжение выражением:

$$P_{rk} = 0{,}8 A_b f_u, \tag{5}$$

где $f_u$ – предельная средняя прочность анкера на растяжение.

Британские [2] и Новозеландские нормы [3] предлагают корректировать несущую способность анкеров введением в формулы источника [3] коэффициентов [5].

Проведенные в Австрии испытания на сдвиг образцов с полкой из бетонной плиты со СПН с анкерными стержнями круглого сечения показали, что они обладают более низким сопротивлением, чем данные вычисленные по современным стандартам на проектирование сталежелезобетонных конструкций [7].

Исследованиями, проведенными в Гонконгском политехническом университете на моделях сталежелезобетонных образцов с разными стад-болтами, показана работа последних на срез и растяжение, как для образцов с приложением усилий сдвига перпендикулярно анкерам (прямой сдвиг), так и под углом (комбинированный сдвиг) [6]. Наши экспериментальные исследования, проведенные в лаборатории КГАСУ[1], показали значительное перемещение и развитие пластических деформаций в образцах с вертикальными анкерными стержнями, что подтверждает работу анкеров не только на изгиб, но и на растяжение. В исследованиях, проведенных в сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементах [18-20] в середине и в конце XX столетия отмечена работа на растяжение арматурных стержней пересекающих контактных «швов».

Полуэмпирические зависимости для расчета анкерных связей приведены во многих зарубежных источниках [7-15]. В основном в нашей стране работу анкерного стержня рассматривают, когда анкер работает на изгиб, а бетон – на смятие, например, в работе Замалиева Ф.С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228, работа анкерного стержня рассмотрена для сталежелезобетонной балки, которая может эксплуатироваться как изолированно, так и в составе перекрытия. В источнике рассматривается оценка несущей способности анкерного стержня, как по основному металлу, так и по сварному шву балок в составе перекрытия, где сдвигающая сила определяется из рассмотрения напряженно-деформированного состояния плиты с ребрами как в источнике.

Исследованиям анкерных связей в разное время посвящено множество работ, в нашей стране необходимость этих исследований была связана с разработкой и экспериментально-теоретическими исследованиями сборно-монолитных железобетонных конструкций. Значительные исследования работы анкерных соединений выполнены в УралНИИ Госстроя СССР в 60-90-е гг. XX столетия для соединения сборного железобетона с монолитным бетоном, как указывалось в статье Замалиева Ф.С. К оценке прочности анкерных связей изгибаемых сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (31) – С. 80-85, изучению анкерных связей внесли весомый вклад

[1]Замалиев Ф. С., Исмагилов Б. Т. Численные и натурные исследования анкерных связей сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2018. № 3 (45). С. 222-228.

ученые нашего вуза и они нашли отражение в работах [18-20]. В источнике [20] прочность контактного шва рассматривается при работе анкера в основном на растяжение, а чуть позже в источнике[2] приводится работа анкерного стержня на изгиб при смятии бетона.

**Теоретические исследования анкерных связей**

Контактный «шов» сталежелезобетонных конструктивных элементов по схеме работы очень схож с работой контактных швов сборно-монолитных железобетонных конструкций. Запишем сначала выражения для наклонных анкерных «П»-образных связей. Как отмечают многие исследователи [1], они в основном работают на растяжения, а бетон на контакте испытывает растяжение и скалывание. Учитывая, что рациональным размещением и конфигурацией анкеров скол бетона можно уменьшить, рассмотрим случай растяжения анкерного «П»-образного наклонного хомута и бетона на контакте с ним, как наиболее значительно влияющего на несущую способность контактного «шва».

Предполагая, что бетон подвергается растяжению по всей длине анкерного стержня равномерно, величину сдвигающей силы $T_b$, запишем в виде:

$$T_b=\sigma_b(\varepsilon_b)l_x\pi d_a\cos\alpha, \quad (6)$$

где $\alpha$, $l_x$, $d_a$ – угол наклона, длина и диаметр ветви «П»-образной анкерной связи.

В случае разрушения по бетону принимаем $\sigma_b(\varepsilon_b)=R_b$, а при разрушении по анкерному стержню, напряжения в бетоне определяются в предположении, что деформации бетона равны максимальному удлинению стержня наклонного анкера.

Величина предельной сдвигающей силы, воспринимаемой анкерной связью, в предположении ее работы на растяжение будет:

$$T_s=\sigma_s(\varepsilon_s)\frac{\pi d_a^2}{4}\cos\alpha. \quad (7)$$

Прочность соединения бетонной полки со стальной балкой определяется из условия:

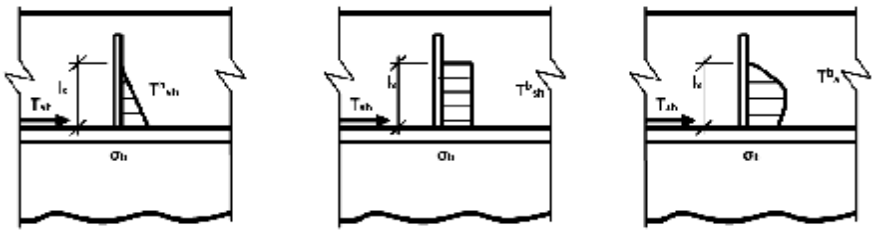
$$T\le T_{ult};\ T_{ult}=min(T_b;T_s). \quad (8)$$

Рассмотрим вертикальную анкерную связь сталежелезобетонных изгибаемых элементов на изгиб и растяжение, где сдвигающая сила определяется из рассмотрения напряженно-деформированного состояния плиты с ребрами как в работе Замалиева Ф.С. К оценке прочности анкерных связей изгибаемых сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (31) – С. 80-85.

Нормированием расстановки анкеров можно исключить скалывание бетона вокруг анкерного соединения. Расстояние между анкерными стержнями определяется величиной диаметра анкеров. Несущую способность соединения, в отличие от предыдущих статей (Замалиев Ф. С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228; Замалиев Ф.С. К оценке прочности анкерных связей изгибаемых сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2015. №1 (31) – С. 80-85.) определим из условий работы вертикального анкерного стержня на изгиб и вокруг смятие бетона для всех возможных форм эпюры в бетоне и в анкерном стержне.

Вертикальный анкерный стержень (рис. 1-3) рассматриваем в виде консоли, усилие в нем будет (Замалиев Ф.С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228):

$$T_s=M_s/l_s. \quad (9)$$



а) б) в)

Рис. 1. Напряжения в бетоне вдоль анкерного стержня (иллюстрация авторов)

[2]Замалиев Ф. С., Исмагилов Б. Т. Численные и натурные исследования анкерных связей сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2018. № 3 (45). С. 222-228.

Из условия равновесия моментов от внешних и внутренних сил, рассматривая эпюру напряжений в бетоне, как внешнее составляющее для вертикального анкера (рис. 1), получим:

а) для треугольных эпюр напряжений бетона и анкерного стержня (рис. 1, 3):

$$T_s = 3/8 \frac{s_s(e_s) A_s w}{l_x} d_s n, \quad (10)$$

где n – количество анкерных стержней в рассматриваемом сечении;
$\omega$ – коэффициент полноты эпюры.

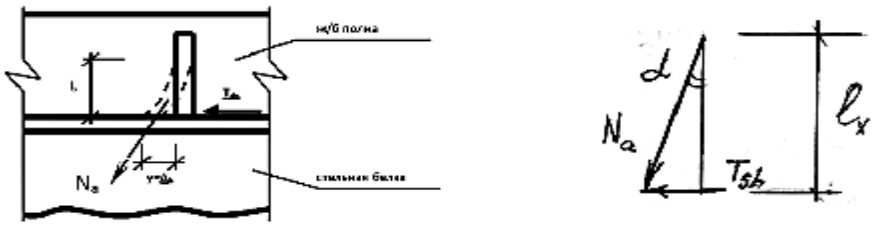
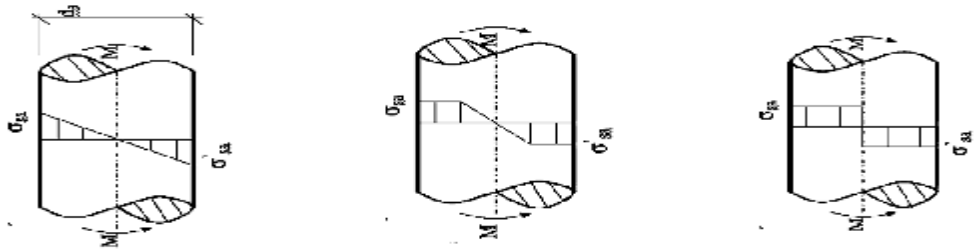



Рис. 2. Прогиб анкерного стержня и схема усилий (иллюстрация авторов)



а) б) в)

Рис. 3. Напряженное состояние анкерного стержня: а) упругая работа;
б) упруго-пластическая работа; в) пластическая работа (иллюстрация авторов)

б) для треугольной эпюры бетона и прямоугольной эпюры напряжений в анкере [2]:

$$T_s = 3/4 \frac{s_s(e_s) A_s w}{l_x} d_s n; \quad (11)$$

в) для прямоугольных эпюр напряжений бетона и анкерного стержня:

$$T_s = 1/2 \frac{s_s(e_s) A_s w}{l_x} d_s n; \quad (12)$$

г) для криволинейной эпюры бетона и прямоугольной эпюры анкера:

$$T_s = 1/4 \frac{s_s(e_s) A_s w}{y(l_x)} d_s n, \quad (13)$$

где $y(l_x)$ – расстояние до центра эпюры.

При сдвиге бетонной плиты относительно верхнего пояса стальной балки происходит изгиб анкерного стержня в бетонном массиве, значительных из-за смещений слоев происходит растяжение анкерного стержня (рис. 2). Тому подтверждение, многие исследователи [4, 7, 8, 12] отмечают при предельных нагрузках отрыв головки стад-болта. По требованиям норм проектирования стальных и железобетонных конструкций, расчет стержней подвергнутых изгибу с растяжением производят при учете изгибающего момента и растягивающих сил. Проверка производится по известной формуле:

$$s = \frac{M}{W_x} + \frac{N}{A_s}. \quad (14)$$

При учете работы материала анкера в пластической стадии, его несущая способность естественно выше, чем при расчете с учетом только его упругой работы. Для определения предельного состояния изгибаемого элемента с учетом его растяжения устанавливают

соотношение между $M$ и $N$, при котором достигается шарнир пластичности, т.е. определяют граничные линии, разделяющие упругую, упругопластическую и пластическую области работы материала в конструктивном элементе. Обозначая через $N_T=A\sigma_T$ усилие, при котором в сечении достигается напряжение текучести (при отсутствии момента) и через $M_T=W_{пл}\sigma_T$ – момент, соответствующий образованию шарнира пластичности (при отсутствии продольной силы), при совместном действии изгибающего момента и продольной силы получены[3] их предельные значения:

$$n=\frac{N_{np}^{M}}{A\sigma_T}\le 1;\quad m=\frac{M_{np}^{N}}{W_{пл}\sigma_T}\le 1. \tag{15}$$

Получено уравнение граничной кривой в виде параболы, которые отражает предельное состояние стержня при изгибе с растяжением:

$$\nu^2+\mu=1 \text{ или } (N_{np}{}^{M}/A\sigma_T)^2+M_{np}{}^{N}/W_{пл}\sigma_T\le 1, \tag{16}$$

где, для нашего случая:

$$M_{np}^{N}=T_s\,l_x,\ N_{np}^{M}=T_s\sin\alpha,\ tg\alpha=\frac{D_{ch}}{l_x},\ A_s=\frac{\pi d_s^2}{4},\ W_{пл}=1,7W_x=1,7\frac{\pi d_a^3}{32}. \tag{17}$$

Сварной шов анкерного стержня с учетом изгиба и растяжения анкера проверяется по известной формуле:

$$\frac{N}{A_w R_{wy}\gamma_c}+\frac{M}{W_w}\le 1 \text{ или } \frac{N}{k_f\pi d_s R_{wy}\gamma_c}+\frac{32M}{\pi d_s^3}\le 1, \tag{18}$$

где $A_\omega$, $W_\omega$ – площадь и момент сопротивления сечения шва, $k_f$ – катет шва, $d_2$ – диаметр анкера, $R_{\omega y}$ – расчетное сопротивление сварного шва.

**Заключение**

1. Анализированы напряженно-деформированное состояние, методы оценки прочности анкерных связей сталежелезобетонных конструкций.

2. Приведены новые аналитические зависимости для оценки прочности анкеров по материалу стержня и бетону.

3. Даны формулы расчета сварного шва анкерного стержня к поясу стальных балок.

4. Сравнением результатов расчета показана удовлетворительная сходимость с собственными экспериментальными данными, изложенными в работе Замалиева Ф.С., Исмагилова Б.Т. Численные и натурные исследования анкерных связей сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2018. № 3 (45). С. 222-228.

Аналитические данные расходятся от экспериментов:

- по перемещением до 8 %
- по напряжениям 13-15 %
- по несущей способности 11-17 %.

## Список библиографических ссылок


1. Construction metallique. Revue : Paris, Franse. № 1-4. 1985. № 4. 1991.
2. BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings: Part 3: Section 3.1: Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI: London, 1990.
3. NZS3404-1:1997. Steel Structures Standart. Part 1, Incorporating Amendment №1 and 2, Standards New Zeland : Wellington.
4. Stephen J. Hicks, Andrew L. Smith Stud shear connectors in composite beams that support slabs with profiled steel sheeting // Structural Engineering International. 2014. № 2. P. 246–253.
5. American institute of steel construction. ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural steel Buildings, American Institute of Steel Construction : Chicago, 2010.
6. Shen M. H., Chung K. F. Structural behavior of stud shear connections with solid and composite slabs under co-existing shear and tension forces.


[3]Муханов К.К. Металлические конструкции // Стройиздат, М., 1976. – С. 70-72.

7. Lawson R. M., Lim J. B. P., Popo-Ola S. O. Pull-out forces in shear connectors in composite beams with large web openings // Journal of Constructional Steel Research. 2013. 87. P. 48–59.
8. Mirza O., Uy B. Effects of the combination of axial and shear loading on the behaviour of headed stud steel anchors. Engineering Structures. 2010. 32 (1). P. 93–105.
9. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures. (Doctoral dissertation, University of Leeds). 2010.
10. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures (Doctoral dissertation, The University of Leeds). 2013.
11. Tahmasebinia F., Ranzi G., Zona A. Probabilistic three-dimensional finite element study on composite beams with steel trapezoidal decking. Journal of Constructional Steel Research. 2013. 80. P. 394–411.
12. Johnson R. P. Calibration of resistance of shear connectors in troughs of profiled sheeting. Proc. Instn. Civ. Eng., Struct. Blag. 2008; 161. P. 117–126.
13. Johnson R. P. Designers' Guide to Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, 2nd edn, Thomas Telford : London, 2012. 257 p.
14. Smith A. L., Couchman G. H. Strength and ductility of headed stud connectors in profiled steel sheeting. J. Construct. Steel Res. 66: 2010. P. 748–754.
15. Ernst S., Bridge R. Q., Wheeler A. Correlation of beam tests with pushout tests in steel-concrete composite beams. J. Struct. Eng. 2010; 136(2). P. 183–192.
16. BSI (2010) BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings. Design in composite construction. Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI, London.
17. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and fabric-composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 158. 010250.
18. Сунгатуллин Я. Г. Экспериментально-теоретические основы расчета сопротивляемости сдвигу армированного и неармированного контактов сборномонолитных конструкций // Сборные и сборно-монолитные железобетонные конструкции. 1975. С. 90–146.
19. Фатхуллин В. Ш. Расчет сборно-монолитных элементов с учетом монолитного бетона в растянутой зоне // Известия вузов. 1978. № 8. С. 16–19.
20. Мартынова Л. Д. Испытание вертикальных сопряжений монолитных стен на воздействие сил сдвига // ЦНИИЭП жилища. 1986. С. 34–41.
21. Хасанов Р. Р., Мирсаяпов Ильшат Т. Выносливость контактного шва сборно-монолитных железобетонных изгибаемых конструкций на сдвиг // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2001. Вып. 3.

**Zamaliev Farit Sakhapovich**
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: zamaliev49@mail.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**To the calculation of the anchor connections of steel-concrete structures**

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to assess the stress-strain state of the contact of the layers of the composite section and the limiting load-carrying capacity of flexible anchor ties most used in steel-reinforced concrete structures.

The task is set on the basis of the analysis of technical domestic and foreign literature to identify the carrying capacity of the most used anchor ties in civil engineering. Write new analytical expressions for estimating the carrier of the anchor rod.

*Results.* The main results of the research consist of determining a number of positions of strength and deformability, in revealing, stress state, contact seam «steel-concrete» steel concrete, bent elements and assessment of their bearing capacity and comparison of results.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry consists in identifying the stress-strain state of the contact seam of the steel-concrete element. The research results, analytical expressions for assessing the strength of the contact seam of steel-reinforced concrete bent elements can be used in the construction of ribbed slabs and beams of new buildings in steel-reinforced concrete, wood concrete, prefabricated monolithic reinforced concrete variants and in the restoration of floors of buildings that have served their standard life.

**Keywords:** concrete structures, anchors, anchor strength, analytical dependencies.

## References

1. Construction metallique. Revue : Paris, Franse. № 1-4. 1985. № 4. 1991.
2. BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings: Part 3: Section 3.1: Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI : London, 1990.
3. NZS3404-1:1997. Steel Structures Standart. Part 1, Incorporating Amendment № 1 and 2, Standards New Zeland : Wellington.
4. Stephen J. Hicks, Andrew L. Smith Stud shear connectors in composite beams that support slabs with profiled steel sheeting // Structural Engineering International. 2014. № 2. P. 246–253.
5. American institute of steel construction. ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural steel Buildings, American Institute of Steel Construction : Chicago, 2010.
6. Shen M. H., Chung K. F. Structural behavior of stud shear connections with solid and composite slabs under co-existing shear and tension forces.
7. Lawson R. M., Lim J. B. P., Popo-Ola S. O. Pull-out forces in shear connectors in composite beams with large web openings // Journal of Constructional Steel Research. 2013. 87. P. 48–59.
8. Mirza O., Uy B. Effects of the combination of axial and shear loading on the behaviour of headed stud steel anchors. Engineering Structures. 2010. 32 (1). P. 93–105.
9. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures. (Doctoral dissertation, University of Leeds). 2010.
10. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures (Doctoral dissertation, The University of Leeds). 2013.
11. Tahmasebinia F., Ranzi G., Zona A. Probabilistic three-dimensional finite element study on composite beams with steel trapezoidal decking. Journal of Constructional Steel Research. 2013. 80. P. 394–411.
12. Johnson R. P. Calibration of resistance of shear connectors in troughs of profiled sheeting. Proc. Instn. Civ. Eng., Struct. Blag. 2008; 161. P. 117–126.
13. Johnson R. P. Designers' Guide to Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, 2nd edn, Thomas Telford : London, 2012. 257 p.
14. Smith A. L., Couchman G. H. Strength and ductility of headed stud connectors in profiled steel sheeting. J. Construct. Steel Res. 66: 2010. P. 748–754.
15. Ernst S., Bridge R. Q., Wheeler A. Correlation of beam tests with pushout tests in steel-concrete composite beams. J. Struct. Eng. 2010; 136(2). P. 183–192.
16. BSI (2010) BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings. Design in composite construction. Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI, London.
17. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and fabric-composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 158. 010250.
18. Sungatullin Ya. G. Experimental and theoretical foundations for calculating the shear resistance of reinforced and non-reinforced contacts of precast monolithic structures // Sbornyye i sborno-monolitnyye zhelezobetonnyye konstruktsii. 1975. P. 90–146.

19. Fathullin V. Sh. Calculation of precast-monolithic elements taking into account monolithic concrete in the stretched zone // Izvestiya vuzov.. 1978. №. 8. P. 16–19.
20. Martynova L. D. Testing of vertical joints of monolithic walls under the influence of shear forces // TSNIIEP zhilishcha. 1986. P. 34–41.
21. Khasanov R. R., Mirsayapov Ilshat T. Endurance of the contact seam of prefabricated monolithic reinforced concrete flexible structures in shear // Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk. 2001. Issue. 3.

УДК 721.012.22/728.45
**Иванцов Алексей Игоревич**
кандидат технических наук
E-mail: ivantsov.arch@mail.ru
**Куприянов Валерий Николаевич**
доктор технических наук, профессор
E-mail: kuprivan@kgasu.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
**Ибрагимова Гузель Исхаковна**
инженер-архитектор
E-mail: breandyaks@gmail.com
**ООО «СК «ИМАН»**
Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Ташаяк, д. 1

# Использование отраженной солнечной радиации как источника инсоляции при проектировании здания общежития

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – достижение 100 % инсоляции жилых комнат студенческого общежития, ориентированного в широтном направлении за счет учета отраженной солнечной радиации от противостоящего здания.

*Результаты.* В работе отражена важность солнечного облучения и ее влияние на психоэмоциональное состояние студентов в период обучения в северных регионах страны. Приведен анализ примеров использования отраженной инсоляции в мировой практике проектирования зданий.

Основным результатом работы является методика проектирования здания широтной ориентации с инсоляцией всех жилых комнат с применением автоматизированного проектного комплекса Rhino Grasshoper. Доказана эффективность солнечной радиации, отраженной от южного фасада противостоящего здания, в качестве источника инсоляции для северного фасада, проектируемого согласно энергетического метода расчета инсоляции помещений.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектурно-строительного комплекса состоит в разработке методики проектирования зданий коридорного типа широтной ориентации со 100 % инсоляцией всех жилых помещений, за счет использования отражения солнечной радиации от противостоящих зданий.

**Ключевые слова:** проектирование зданий, солнечная радиация, инсоляция, отражение, методика

## Введение

При проектировании жилых зданий временного пребывания, к которым относят, например, общежития и гостиницы, нормативные документы позволяют оставлять до 40 % жилых комнат без облучения прямым солнечным светом на протяжении всего года, так как согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 нормы инсоляции в таких зданиях должны выполняться не менее чем в 60 % жилых комнат. Вместе с тем, солнечная радиация оказывает широкий спектр положительного воздействия на человека: от биологического до эмоционально-психологического, и исключать ее на протяжении долгого времени является нежелательным.

В северных регионах страны, где световой день на протяжении большого времени достаточно короток, пренебрежение нормами инсоляции на фоне значительных психологических нагрузок ведет к снижению работоспособности и функциональных систем человека.

Достижение требуемого инсоляционного режима в 100 % жилых номеров временного жилья возможно путем учета отражений солнечной радиации от фасадов противостоящих зданий.

**Психоэмоциональное состояние студентов в период обучения в вузе**

Процесс обучения студентов в вузах неразрывно связан с интенсивными психоэмоциональными нагрузками, вызываемыми как увеличением объемов усваиваемой учебной информации, так и процессами психологической и социальной адаптации. Данные нагрузки влекут за собой снижение функциональным систем организма, переутомление, нарушение здоровья [1, 2].

В вузах нашей страны учебная загруженность студентов по академическим нормам не должна превышать 36 часов в неделю, однако из-за возрастающей доли материала, относящегося к самостоятельной работе студентов, на которую приходится до 3-4 часов в день, общая загруженность может превышать и 50 часов в неделю. При этом учебные задания выполняются, как правило, по вечерам и выходным дням [3].

Кроме того, исследование психофункционального состояния студентов связывает увеличение личностной и ситуативной тревожности с сезонным дефицитом уровня освещенности и низким уровнем поступления прямой солнечной радиации в условиях средних и особенно северных широт. Наступающее в северном регионе в зимний период сезонное уменьшение солнечной радиации приводит к повышенной утомляемости, сонливости, повышенному напряжению, потери концентрации внимания и пр. Повышается уровень общей тревожности, беспокойства, агрессии по отношению к окружающим. И все это в свою очередь негативно сказывается на учебном процессе: студенты с повышенном уровнем тревожности хуже запоминают материал, чаще проваливают экзамены [4].

Солнечная радиация оказывает на человека действие широкого спектра: биологическое, психологическое, эстетическое, эмоциональное. Нормы инсоляции помещений в большинстве стран основаны в том числе на положительном психоэмоциональном воздействии прямого солнечного облучения на человека. Исследование 70-х годов прошлого века, проведенное с целью определения психологически предпочтительных для населения условий инсоляций жилых помещений в различных географических районах нашей страны, показало, что свое положительное отношение к инсоляции своих квартир жители объясняют тем, что в освещенных солнцем помещениях, улучшается настроение (38-61 %), солнечный свет улучшает внешний вид интерьера (10-16 %) и благотворно влияет на здоровье (12-16 %). Также следует заметить, что согласно данным исследований 35-45 % опрошенных жителей, проживающих в квартирах, выходящих окнами на северные и северо-западные фасады считают условия инсоляции недостаточными [5]. К тому же согласно данному исследованию выявлено что 46 % жителей, проживающих в средней и южной полосе, считают наиболее приемлемым временем инсоляции утренние часы, а в северных городах предпочитают инсоляцию в течении всего дня. Во всех климатических зонах страны большая часть жителей предпочитают зимой, а в северных регионах и летом находиться в инсолируемых помещениях [5].

В этой связи становится важным учитывать нормативный инсоляционный режим помещений, в которых студенты находятся продолжительное время, с целью повышения их психоэмоционального состояния особенно в условиях северных широт.

**Нормативный инсоляционный режим помещений**

Нормативный инсоляционный режим помещений накладывает определенные ограничения на ориентацию жилых зданий различной архитектурной типологии по сторонам света. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 в жилых зданиях должны инсолироваться, т.е. облучаться прямым солнечным светом, не менее одной жилой комнаты в одно-трехкомнатных квартирах, не менее двух комнат в четырех- и более комнатных квартирах.

Для секционных зданий преимущественно широтной ориентации, когда окна жилых помещений выходят на север или юг, для выполнения норм инсоляции возможна только двухсторонняя ориентация квартир с большим числом комнат, однокомнатные квартиры могут выходить только на южную сторону. При преимущественно меридиональной ориентации секционных жилых зданий, для выполнения норм инсоляции возможна любая ориентация квартир: как двухсторонняя, так и односторонняя с любым числом комнат.

При проектировании жилых зданий коридорной системы, при которой жилые ячейки имеют только одностороннюю ориентацию, размещение здания в широтном направлении исходя из норм инсоляции невозможно. Допустима только меридиональная и диагональная ориентация.

Из-за типологических особенностей жилых зданий временного пребывания (общежития, гостиницы), которые проектируются преимущественно по коридорной системе, а значит при широтной ориентации таких зданий выполнение норм инсоляции в каждой комнате невозможно, в нормативных документах введено послабление: требования инсоляции должны выполняться в не менее чем 60 % жилых комнат.

С одной стороны, и в жилых зданиях квартирного типа инсолируются также не все жилые комнаты. В зависимости от площади секций и количества квартир на этаже процент инсоляции жилых комнат может опускаться и ниже 50 %. Тем не менее минимум одна комната имеет нормативный инсоляционный режим. В жилых зданиях коридорного типа широтной ориентации до 40 % жилых комнат может не инсолироваться в течение всего года.

В связи с тем, что в общежитии студенты в период самостоятельной подготовки проводят продолжительное время на протяжении всего периода обучения (от 4 до 7 лет), то отсутствие нормативного инсоляционного режима в 40 % комнат скажется на снижении их психоэмоционального состояния, а значит и общего уровня подготовки.

Для решения вопроса 100 % инсоляции жилых комнат общежития студентов, ориентированного в широтном направлении, предлагается использовать отраженную от противостоящих зданий солнечную радиацию как источник благоприятной инсоляции для помещений с северными окнами. При расчете коэффициента естественного освещения КЕО согласно рекомендованной методики СП 52.13330.2016 учитывается отраженный свет от противостоящих зданий, однако при расчете инсоляции помещений таковая методика отсутствует. Существуют отдельные предложения по учету отраженной инсоляции в ситуации стесненной застройки [6-10], однако сформированной методики по проектированию зданий исходя из таковых условий в широкой проектной практике не наблюдается.

Вместе с тем, натурные исследования показывают наличие ультрафиолетового диапазона в отраженном от фасадов зданий спектре [11, 12]. В этой связи возможно говорить не только об психоэмоциональном влиянии отраженной инсоляции, но также и на бактерицидный эффект, о чем будет сказано ниже. На количество ультрафиолета в отраженном свете влияет материал отделки фасада и тип остекления, что демонстрируют данные табл. 1.

Таблица 1

**Интегральный коэффициент отражения фасадных материалов**

| Вид материала | Интегральный коэффициент отражения света |
|---|---|
| Лицевой кирпич | |
| Кирпич фасадный белый | 0,72 |
| Кирпич фасадный светло-соломенный | 0,54 |
| Кирпич фасадный желтый | 0,35 |
| Кирпич фасадный коричневый | 0,13 |
| Керамогранит | |
| Керамогранит светло-серый | 0,60 |
| Керамогранит зеленый | 0,41 |
| Керамогранит коричневый | 0,39 |

**Применение отраженной инсоляции при проектировании зданий**

В мировой практике известны примеры использования противостоящих зданий и их отдельных конструктивных и архитектурных элементов с целью отражения солнечного света в затененные области.

Одним из последних решений является концепция «Башня без тени» лондонского отделения архитектурного бюро NBBJ. Архитекторы разработали проект из двух башен разного размера. Северная башня выступает в роли гигантского зеркала и, отражая свет, освещает площадь, расположенную между двумя зданиями. При этом особая форма

зданий позволяет направлять отраженный свет точно на тень, отбрасываемую от южной башни. Таким образом, удается сократить размер падающей тени на 60 % (рис. 1).

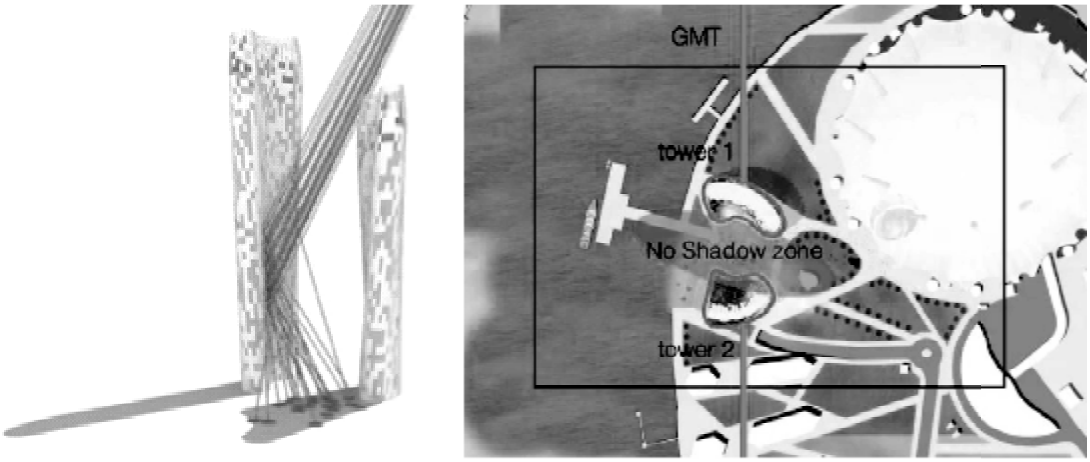



Рис. 1. Концепция здания «Башня без тени». Архитектурного бюро NBBJ
(источник: htthttps://vimeo.com/121813688/)

Необходимую форму здания архитекторам удалось получить с использованием программы Rhino в комплекте с плагинами симуляции естественного освещения подобно DIVA. На первом этапе задавались лишь базовые параметры: высота, площадь этажей, а программа уже перебирала всевозможные решения и выдавала в результате самые оптимальные, которые позволили бы отражать как можно больше света.

В Норвегии в городе Рьюкане, который полгода находится в тени окружающих его гор, три зеркала, каждое площадью – 17 м$^2$, освещают город. Выдвинутую в 1913 году идею реализовали только в 2013 (рис. 2).

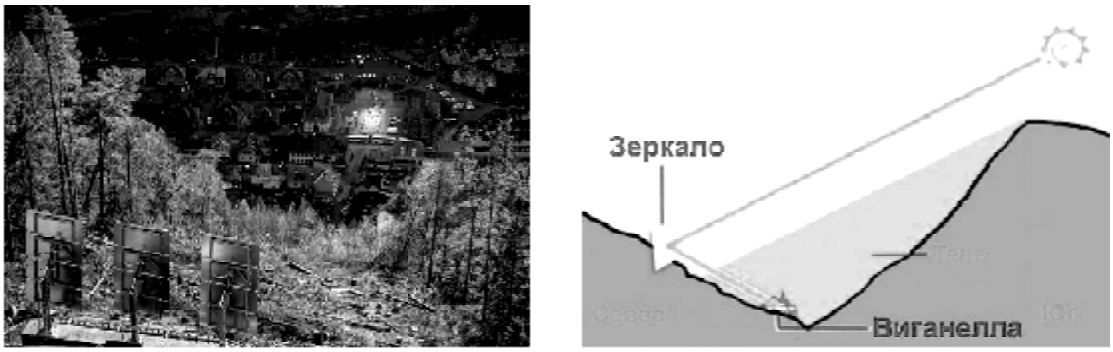



Рис. 2. Зеркала на вершине горы в г. Рьюкане (Норвегия) и д. Виганелла (Италия)
(источник: http://www.rusrep.ru/article/2013/10/31/sun/
http://vokrugmir.ru/iskusstvennoe-solnce-dlya-zhitelej-italyanskoj-derevni/)

В 2006 году в итальянской деревне Виганелла, которая на три месяца остается без солнца из-за наличия гор, на вершине горы установили огромное зеркало, которое следуя за лучами солнца, направляет отражение света на площадь перед мэрией (рис. 2).

В 2014 году было построено здание комплекса One Central Park по проекту Ateliers Jean Nouvel и PTW Architects. Между двумя жилыми башнями комплекса архитекторы разместили цветущий сад, который плавно перетекает на фасады здания. Для естественного освещения сада была запроектирована нависающая консоль с моторизированными зеркалами, которые, отражая солнечные лучи, направляют их в течение дня на затененную площадку (рис. 3).

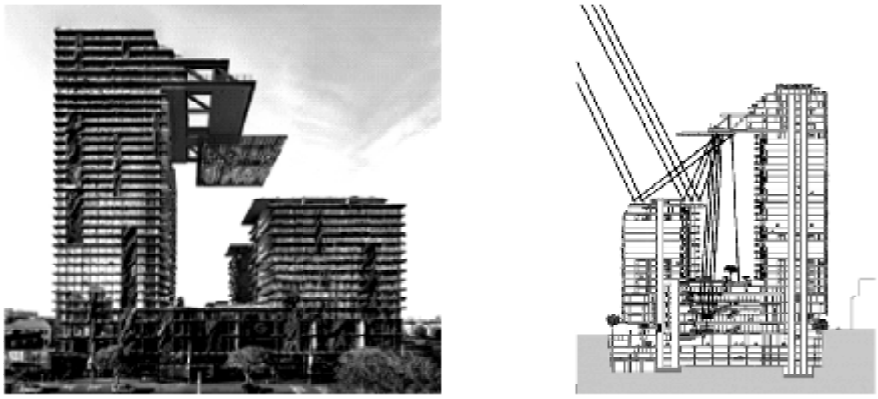


Рис. 3. Комплекс One Central Park. Архитекторы Ateliers Jean Nouvel
(источник: https://archi.ru/projects/world/8657/bashnya-one-central-park)

Вместе с тем, использование больших площадей отражения солнечного света может привести к нежелательным последствиям. Построенный в Лондоне в 2013 году небоскреб бизнес-центра «Walkie Talkie» с вогнутым зеркальным фасадом фокусирует лучи, нагревая поверхность улицы на протяжении 30 м вокруг себя до 70 °С. Таким образом, при использовании отраженной инсоляции в городской среде стоит избегать ее направленного воздействия на противостоящие здания и городскую среду. Отраженный свет должен нести направленно-рассеянное действие, которое может быть обеспечено матированным покрытием стекол и фасадов.

**Методика проектирования здания с учетом отраженной инсоляции**

В данной работе рассмотрим методику проектирования застройки, учитывающую взаимное влияние отраженной солнечной радиации. В качестве новой застройки разрабатывался студенческий кампус в г. Тюмень. Основным зданием, для которого проектируется 100 % инсоляционный режим жилых комнат, является студенческое общежитие. Вспомогательным зданием, которое служит отражающим экраном, является офисно-деловой центр.

Основным инструментом автоматизированного проектирования выступил комплекс Rhinoceros с модулем проектирования Grasshoper.

Методика проектирования застройки включает в себя следующие этапы.

1. С помощью программного комплекса Rhino Grasshoper и плагина DIVA 4.0 строится траектория движения солнца по небосводу на расчетный день конкретной широты местности (57 ° с. ш. для г. Тюмень и 22 апреля).

2. Задается концептуальная форма плана основного здания и здания, создающего отражающую поверхность, согласно градостроительной ситуации местности и архитектурно-конструктивного решения зданий. Для достижения направленно-диффузного отражения и исключения многократного переотражения, поверхностям зданий, обращенных друг к другу (северный фасад основного здания и южный фасад отражающего здания) придается криволинейная форма (рис. 4).

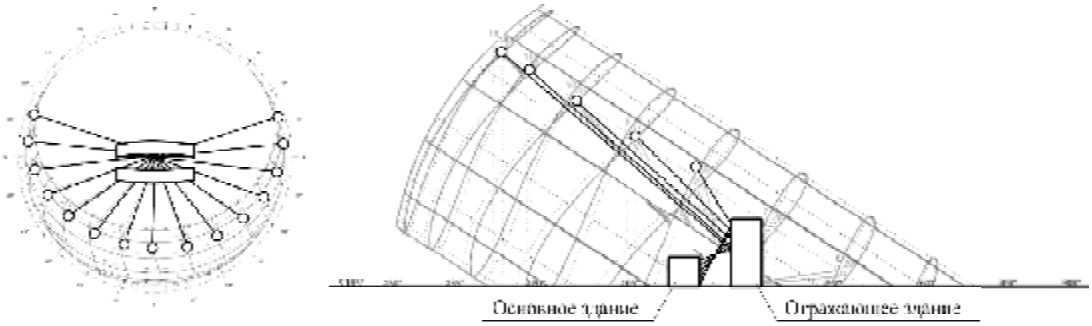



Рис. 4. Исходная ситуация для расчета отраженной инсоляции (иллюстрация авторов)

3. С использованием скрипта от компании BIM Academy, позволяющего рассчитывать продолжительность инсоляции с точностью до 10 минут, определяется минимально необходимая высота отражающего здания. По расчетам для г. Тюмень на 22 апреля при заданной планировочной схеме высота основного здания составляет 20-28 м, высота отражающего здания – 60 м.

Путем перебора формы и высоты двух зданий достигается условие нормативного уровня инсоляции в каждой точке на северном фасаде основного здания (рис. 5).

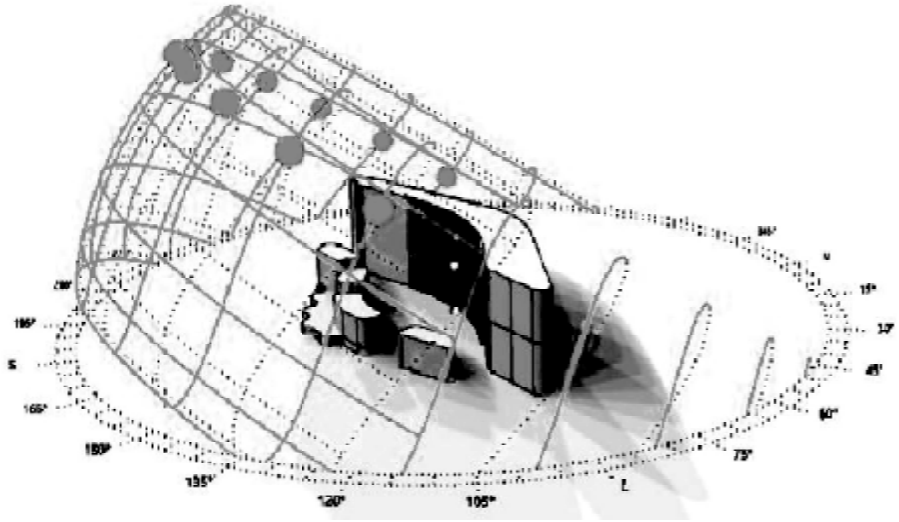


Рис. 5. Расчетная модель основного и отражающего здания.
Разбиение сетки для учета отраженных лучей (иллюстрация авторов)

Для приведенного примера при отсутствии блокирующей застройки с южной стороны получаем продолжительность облучения северного фасада основного здания общежития равной 7 часам, что в полной мере соответствует требованиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01.

4. С использованием энергетического метода расчета инсоляции [14] рассчитывается количество УФ-энергии, попадающее на южный фасад отражающего здания и отражающееся на северный фасад основного здания. Путем подбора материала отделки фасадов и заполнения оконных проемов достигается заданная доза облучения в воздухе и на поверхности помещений основного здания.

Сопоставление полученных доз УФ-радиации с нормативными дозами для воздуха помещений (39 Дж/м$^3$) и его поверхностей (15 Дж/м$^2$) в приведенном примере при использовании стеклопакета из силикатного стекла показывает следующее:

- для южного фасада, облучаемого прямой радиацией:

$\Delta_в$ (для воздуха) = 152,20 > 39 Дж/м$^3$, $\Delta_п$ (для поверхностей) = 103,80 > 15 Дж/м$^2$;

- для северного фасада, облучаемого отраженной радиацией:

$\Delta_в$ (для воздуха) = 85,60 > 39 Дж/м$^3$, $\Delta_п$ (для поверхностей) = 23,00 > 15 Дж/м$^2$.

Важно отметить, что соответствие доз облучения в помещениях, ориентированных за север, нормативным требованиям достигается только при использовании в качестве источника отраженной радиации южного фасада противостоящего здания. При ориентации фасада, отличной от южной, количество отраженной УФ-радиации будет недостаточным даже при использовании стеклопакетов с высокими пропускающими способностями ультрафиолета.

Соответствие расчетных доз облучения нормативным дозам, согласно энергетического метода, подтверждает эффективность отраженной инсоляции с точки зрения бактерицидного эффекта. Психоэмоциональный эффект отраженной инсоляции подтверждается соответствием продолжительности облучения северного фасада требованиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01.

**Заключение**

Таким образом, приведенный пример проектирования здания общежития широтной ориентации показывает возможность обеспечения 100 % инсоляции жилых комнат. Достижение нормативного уровня инсоляции помещений северной ориентации решается за счет организации потока отраженной радиации от южного фасада противостоящего здания. Бактерицидный и биологический эффекты отраженной инсоляции подтверждаются расчетом доз облучения воздуха и поверхностей помещений северной ориентации энергетическим методом расчета инсоляции. Данный эффект обеспечивается за счет продолжительной инсоляции южного фасада противостоящего здания (более 7 часов). Такая продолжительность облучения северного фасада отраженной радиацией в свою очередь обеспечивает психоэмоциональный эффект инсоляции в помещениях северной ориентации.

## Список библиографических ссылок


1. Дмитриев Д. А., Дмитриев А. Д., Карпенко Ю. Д., Саперова Е. В. Влияние экзаменационного стресса и психоэмоциональных особенностей на уровень артериального давления и регуляцию сердечного ритма // Физиология человека. 2008. Т. 34. № 5. С. 89–96.
2. Льдокова Г. М., Панфилов А. Н. Психические состояния студентов в усложненных условиях учебной деятельности // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2013. № S1. С. 19–29.
3. Гора Е. П. Экология человека. Учебное пособие для вузов. М. : Дрофа, 2007. 540 с.
4. Варенцова И. А., Чеснокова В. Н., Соколова Л. В. Сезонное изменение психофункционального состояния студентов с разным типом вегетативной регуляции сердечного ритма // Экология человека. 2011. № 2. С. 47–52.
5. Оболенский Н. В. Архитектура и солнце. М. : Стройиздат, 1988. 207 с.
6. Мартиросов А. Л., Пашян Д. А. Возможности изменения инсоляции внутренних пространств с использованием линз // Интернет-журнал «Науковедение». 2012. № 3 (12). С. 106.
7. Шакиров И. В., Грабовый К. П. Анализ методов обследования инсоляции зданий и сооружений анализ методов обследования инсоляции зданий и сооружений // Экономика и предпринимательство. 2016. № 4-2 (69). С. 496–500.
8. Gritsienko D. G., Kasyanov V. F. Light guide use and facade light reflection for improved insolation and increased daylight factor as part of the reconstruction of city housing system // Light & Engineering. 2015. Т. 23. № 3. P. 24.
9. Ершов А. В., Гольдштейн Г. К. Учет отраженной радиации в застройке // Теплотехнические качества и микроклимат крупнопанельных жилых зданий. 1968. Сб. 2. С. 124–130.
10. Gritsienko D., Kasyanov V. Solar exposure condition improvement in urban area using light guide // MATEC Web of conferences. 2017. V. 106. № 01015.
11. Касьянов В. Ф., Грициенко Д. Г. Натурное определение коэффициентов отражения отделочных материалов фасадов зданий городской застройки в ультрафиолетовом спектре солнечного излучения // Научное обозрение. 2016. № 18. С. 45–50.
12. Jovanovic Marko Facade extrusions' influence on the building solar insolation performance // Journal of international scientific publications: materials, methods & technologies. 2014. V. 8. № 1000002. P. 247–654.
13. Егоров Д. А. Влияние компьютерного моделирования на качество формирования архитектурного пространства : сб. ст. «Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения». Материалы IX Национальной конференции с международным участием / СГАУ им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2019. С. 78–80.
14. Куприянов В. Н., Седова Ф. Р. Обоснование и развитие энергетического метода расчета инсоляции жилых помещений // Жилищное строительство. 2015. № 5. С. 83–87.

**Ivantsov Aleksey Igorevich**
candidate of technical sciences
E-mail: ivantsov.arch@mail.ru
**Kupriyanov Valeriy Nikolayevich**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: kuprivan@kgasu.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelonaya st., 1
**Ibragimova Guzel Iskhakovna**
engineer-architect
E-mail: breandyaks@gmail.com
**LLC «BC «IMAN»**
The organization address: 420111, Russia, Kazan, Tashayak st., 1

## The use of reflected solar radiation as an insolation source in the design of a dormitory building

**Abstract**

*Problem statement*. The purpose of the study is to achieve 100 % insolation of the living rooms of a student dormitory oriented in the latitudinal direction by taking into account reflected solar radiation from the opposing building.

*Results*. The work shows the importance of solar exposure and its effect on the psycho-emotional state of students during their studies in the northern regions of the country. The analysis of examples of the use of reflected insolation in the world practice of building design is given.

The main result of the work is a technique for designing a latitudinal orientation building with an insolation of all living rooms using the Rhino Grasshoper automated design complex. The efficiency of solar radiation reflected from the southern facade has been proved as an insolation source for the northern facade according to the energy method of calculating the room insolation.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the architectural and construction complex consists in the development of a methodology for designing corridor-type buildings of latitudinal orientation with 100 % insolation of all residential premises, through the use of reflection of solar radiation from opposing buildings.

**Keywords:** solar radiation, insolation, reflection, building design, methods.

### References

1. Dmitriev D. A., Dmitriev A. D., Karpenko Yu. D., Saperova E. V. The Impact of examination stress and psycho-emotional features on blood pressure and heart rate regulation // Fiziologiya cheloveka. 2008. V. 34. № 5. P. 89–96.
2. Ldokova G. M., Panfilov A. N. Mental states of students in the complicated conditions of educational activity // Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal Kontsept. 2013. № S1. P. 19–29.
3. Gora E. P. Human ecology. Textbook for universities. M. : Drofa, 2007. 540 p.
4. Varentsova I. A., Chesnokova V. N., Sokolova L. V. Seasonal change in the psycho-functional state of students with different types of vegetative regulation of heart rhythm // Ekologiya cheloveka. 2011. № 2. P. 47–52.
5. Obolensky N. V. Architecture and sun. M. : Stroiizdat, 1988. 207 p.
6. Martirosov A. L., Pashyan D. A. Possibilities for changing the insolation of internal spaces using lenses // «Naukovedenie» internet journal. 2012. № 3 (12). P. 106.
7. Shakirov I. V., Graboviy K. P. Analysis of the methods for insolating buildings and structures, analysis of methods for insolating buildings and structures // Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2016. № 4-2 (69). P. 496–500.

8. Gritsienko D. G., Kasyanov V. F. Light guide use and facade light reflection for improved insolation and increased daylight factor as part of the reconstruction of city housing system // Light & Engineering. 2015. T. 23. № 3. P. 24.
9. Ershov A. V., Goldstein G. K. Accounting for reflected radiation in buildings // Teplotekhnicheskiye kachestva i mikroklimat krupnopanel'nykh zhilykh zdaniy. 1968. Sat. 2. P. 124–130.
10. Gritsienko D., Kasyanov V. Solar exposure condition improvement in urban area using light guide // MATEC Web of conferences. 2017. V. 106. № 01015.
11. Kasyanov V. F., Gritsienko D. G. Natural determination of the reflection coefficients of finishing materials of the facades of urban buildings in the ultraviolet spectrum of solar radiation // Nauchnoye obozreniye. 2016. № 18. P. 45–50.
12. Jovanovic Marko Facade extrusions' influence on the building solar insolation performance // Journal of international scientific publications: materials, methods & technologies. 2014. V. 8. № 1000002. P. 247–654.
13. Egorov D. A. Influence of computer modeling on the quality of the formation of architectural space: dig. of art. «Current problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply». Materials of the IX National Conference with International Participation / SSAU after the name of N.I. Vavilov. Saratov, 2019. P. 78–80.
14. Kupriyanov V. N., Sedova F. R. Justification and development of the energy method of calculating the insolation of residential premises // Zhilishchnoye stroitelstvo. 2015. № 5. P. 83–87.

УДК 69.058.7
**Кабанова Татьяна Владимировна**
инженер-проектировщик
E-mail: kabanova_tatyana95@mail.ru
**ООО «Дом Инженерных Решений»**
Адрес организации: 420088, Россия, г. Казань, пр. Победы, д. 226
**Енюшин Владимир Николаевич**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: enjushin@gmail.com
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
**Ануфриев Сергей Эдуардович**
начальник службы диагностики
E-mail: ase.keravt@gmail.com
**ООО «КЭР-Автоматика»**
Адрес организации: 420080, Россия, г. Казань, пр. Ямашева, д. 37б

# Тепловизионная съемка как способ оперативного контроля теплозащитных свойств ограждающих конструкций

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования - изучение такого метода неразрушающего контроля ограждающих конструкций как тепловизионная съемка, а также как выбранная бесконтактная технология может быть эффективно использована при обнаружении недостатков ограждающих конструкций зданий.

*Результаты*. Основные результаты исследования состоят в предложении использования принципов, выявленных на основе обследования шестиэтажного жилого панельного дома в г. Нижнекамск. Проведена оценка различных недостатков в элементах ограждающих конструкций здания, некоторые из которых было бы трудно определить с помощью диагностических методов, отличных от инфракрасной термографии. Количественно определено существующее термическое сопротивление элементов оболочки.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что данный метод позволит улучшить долгосрочную энергоэффективность существующих зданий и, в дальнейшем, внесет вклад для проектировщиков при выборе элементов строительных конструкций и теплоизоляции строящихся или реконструируемых объектов.

**Ключевые слова:** тепловизионная съемка, энергетический паспорт, коэффициент излучения, тепловое отражение, угол наблюдения, степень черноты, сопротивление теплопередаче, контактные методы.

## Введение

Вопрос об энергоэффективности был и остается одним из приоритетных направлений в России. Актуальность энергосбережения и повышение энергетической эффективности зданий обусловлена высокими затратами и постоянным ростом тарифов на энергоресурсы. Для решения данной проблемы, в нашей стране был принят Федеральный закон № 261 «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности».

Ученые многих стран занимаются проблемой энергосбережения, но, в то же время, однозначного и рационального решения этой проблемы пока не найдено. Тепловая защита наружных стен зависит от многих факторов: конструктивного решения стен, типа теплоизоляционного слоя, режима эксплуатации и района строительства.

Для обеспечения высокой энергоэффективности гражданского строительства находят широкое применение такие материалы как пенополистирол, минеральная вата и ячеистая изоляция. Однако по результатам исследований существует ряд противоречивых мнений об их долговечности. Таким образом, исследования термовлажностного режима наружных стен актуальны как с точки зрения теплоизоляции, так и с точки зрения долговечности ограждающих конструкций.

Есть несколько проблем, которые необходимо решить при улучшении энергоэффективности существующих зданий:

- Термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий, как правило, не однородно по всей оболочке здания. Это особенно актуально для старых зданий.

- Значения термического сопротивления могут меняться со временем из-за условий окружающей среды и ухудшения свойств материала конструкции вследствие его старения. Эффективность теплозащиты может снизиться со временем на 50 %. Следовательно, существует необходимость определения значения $R$ существующих компонентов ограждающих конструкций здания для количественной оценки фактических и прогнозируемых изменений перед реализацией любого проекта по улучшению ограждающих конструкций.

- Поскольку некоторые элементы оболочки здания имеют очень большую площадь поверхности, сбор данных для количественной оценки теплопередачи через ограждающие конструкции занимает много времени и будет стоить относительно дорого. В результате управляющие компании редко расставляют приоритеты в проектах по улучшению энергосбережения из-за сложности определения существующих недостатков изоляции и герметизации, а также, связанной с этим, нехваткой надежных данных относительно энергетической характеристики ограждающих конструкций здания.

При решении проблем, связанных с сокращением энергетических затрат, требуется комплексный подход. Работа по совершенствованию отдельных элементов системы не приведёт к кардинальному снижению энергопотребления.

В современных условиях разработано множество методов, позволяющих эффективно использовать существующие энергетические мощности и ресурсы. Использование энергосберегающих технологий предприятиями строительной индустрии безусловно позволит получить положительный эффект потребителям, который найдет выражение в реальных финансовых показателях – снижению коммунальных платежей.

**Метод оценки состояния ограждающих конструкций зданий**

Одним из современных методов получения достоверной информации о текущем состоянии теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, является тепловизионная съемка. Тепловизионная картинка показывает распределение температур на поверхности ограждающих конструкций, по которой можно судить о качестве строительно-монтажных работ и текущем состоянии теплоизоляционного слоя. Такой точный и быстрый процесс сбора данных может помочь в преодолении вышеизложенных проблем.

На сегодняшний день популярны традиционные методы тепловидения [1, 2]. Особенность этих методов заключается в том, что за довольно короткое время и с наименьшими затратами можно выявить места утечек тепла, при этом не нарушая структуру ограждающих конструкций.

Характеристики теплоизоляции регламентируются СП 50.13330.2012 и СП 345.1325800.2017. Данные нормативные документы регламентируют теплотехнические требования к зданиям, в соответствии с которыми осуществляется тепловизионное обследование и разработка энергетического паспорта объекта [3]. В энергетическом паспорте, как нормативном документе, на основе результатов энергоаудита, приводятся регламентируемые показатели энергоэффективности и мероприятия по энергосбережению.

Тепловизионная съемка позволяет качественно выполнить проверку тепловой защиты здания, а результаты обследования отражают возможные скрытые структурные, технологические, конструкционные или эксплуатационные дефекты в теплозащите объекта.

Система термографического сканирования может измерять и просматривать температурное распределение по инфракрасному излучению, исходящему от нагретой поверхности объекта, без физического контакта во время обследования между измерительным оборудованием и поверхностью. В результате тепловая двумерная картина объекта получается в разных оттенках цветов (от сине-фиолетового до оранжево-желтого) или в серых оттенках.

Принцип измерения основан на том, что любое тело непрерывно излучает энергию, пропорциональную температуре и излучательной способности его поверхности.

**Факторы, влияющие на точность измерения**

К основным факторам, влияющим на точность исследования инфракрасной термографии, относят следующие:

а) Климатические условия: инсоляция, ветер, температура окружающей среды, относительная влажность, концентрация парниковых газов (пары воды, $CO_2$).

б) Характеристики исследуемой поверхности: излучательная способность / отражательная способность, шероховатость, цвет поверхности стены, отделка стен (элементы декора).

в) Недостатки окружающей среды: угол зрения и расстояние съемки, ориентация здания и его освещенность при обследовании, наличие любых тепловыделяющих установок или машин внутри здания; скрининг объектов (например, влияние окружающих деревьев или ближайшее здание).

Полученные данные вносят в отчет о проведении обследования. Методика проведения натурных обследований определяется специалистами на стадии подготовительных работ. Методология исследования, используемая организациями, базируется на следующих рекомендациях.

При исследовании внешних ограждающих конструкций, располагаемых на открытом воздухе, необходимо учитывать возможность охлаждения ветром. Например, значение температуры поверхности ограждений, полученное при скорости ветра 5 м/с, будет примерно в 2 раза ниже значения при скорости ветра 1 м/с.

Для допустимых значений скорости ветра от 1 до 7 м/с применяется формула [4]:

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \left|\frac{V_1}{V_2}\right|^{0.448}, \quad (1)$$

где $\Delta T_1$ – превышение температуры при скорости ветра $V_1$; $\Delta T_2$ – то же при скорости ветра $V_2$.

При более высоких скоростях ветра измерения проводить нежелательно.

Осадки. Измерения тепловизором в таких погодных условиях, как дождь, туман, снег, могут иметь значительную погрешность, т.к. инфракрасные лучи могут отражаться от взвешенных частичек или капель, однако это зависит от спектрального диапазона прибора. Тепловизоры, работающие в «окне прозрачности атмосферы» – 8-13 мкм практически не подвержены этому влиянию.

Солнечная радиация нагревает исследуемый объект, особенно в местах с высокой излучательной способностью. Во избежание её влияния рекомендуется проводить тепловизионную съемку в облачную погоду или в ночное время (предпочтительно после полуночи), но не ранее 2 часов после захода солнца.

При тепловизионной диагностике объектов, расположенных в сравнительно небольшом пространстве, нередко получаются ошибочные результаты из-за теплового отражения от нагревательных элементов, искусственного освещения и др. (рис. 1). Например, при съемке тепловизор может показывать горячую точку (пятно), хотя в действительности это просто тепловое отражение от лампы, особенно от лампы накаливания. В основном это явление характерно для тепловизоров с коротковолновым спектральным диапазоном (длины волн в интервале 2-5 мкм). В этих случаях рекомендуется проводить тепловизионную съемку объекта под различными углами наблюдения и сменой местоположения тепловизора [5].

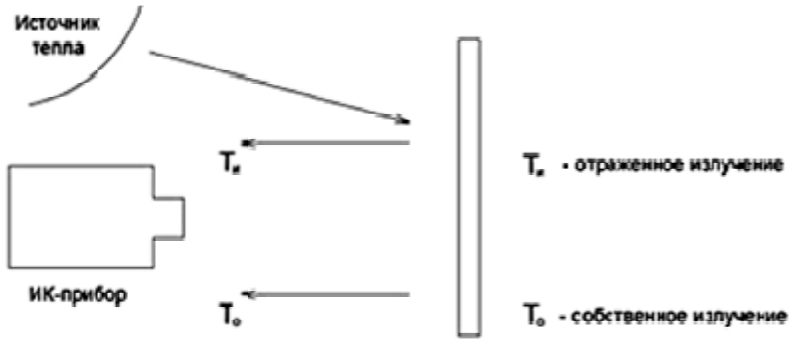



Рис. 1. Влияние теплового отражения (иллюстрация авторов)

Коэффициент излучения материала в общем виде зависит от следующих факторов: длины волны, угла наблюдения поверхности контролируемого объекта и температуры.

Коэффициент излучения высокий у неметаллов, жидкостей и газов, т.к. они практически не изменяют своих излучательных свойств относительно времени и температуры. Более того, газы и пары воды имеют «полосатый» спектр излучения и, соответственно, спектр поглощения. Поэтому, при выборе спектрального диапазона тепловизора, следует обращать внимание на возможное влияние этого фактора. Предпочтительнее выбирать тепловизионное оборудование, работающее в «окне прозрачности» области 6-8 мкм. Металлы являются хорошими отражателями длинноволнового инфракрасного излучения, отсюда и довольно низкая степень черноты.

Немаловажную роль играет в этом вопросе угол наблюдения. Для металлов значение коэффициента излучения постоянно в диапазоне угла падения от 0 до 40°, для диэлектриков – в диапазоне от 0 до 60°. За границами этих значений коэффициент излучения быстро уменьшается до нуля при наблюдении в направлении по касательной [6].

Например, при длине волны излучения 10 мкм при измерениях по нормали поверхность воды близка к абсолютно черному телу, а при наблюдении по касательной становится зеркальной.

**Порядок организации и проведения измерений**

Тепловизионное обследование начинается с оценки конструктивной схемы [7]. В него входит визуальный осмотр внешних ограждающих конструкций и проверка на различные явные внешние дефекты здания (трещины, перекосы здания, отслоение облицовки, наличие коррозий и т.д.). Далее проводится анализ погодных условий, характеристика поверхности и определяется доступность ограждающих конструкций для выполнения съемки тепловизором.

После визуальной оценки внешних ограждающих конструкций устанавливается порядок организации и проведения измерений, обработки результатов испытаний ограждающих конструкций и контроля уровня тепловой защиты конструкций в естественных условиях [8].

В зависимости от способа измерений, с одной стороны мы можем определить приведенное сопротивление теплопередаче, полученное в результате натурных или лабораторных условий, а с другой стороны мы можем использовать контактные методы измерения или «термографическую картинку». Так как термограмма позволяет оперативно определить только участки неоднородные по теплотехническим параметрам или имеющие другую степень теплозащитных свойств, то для получения более точных результатов, после тепловизионной съемки, как правило, используются контактные методы для измерения в конкретных участках ограждающей конструкции.

При обследовании зданий, важно получение не только действительной картины состояния ограждающих конструкций, но и информации о фактическом значении таких параметров теплозащиты как коэффициент теплотехнической однородности, коэффициент теплоотдачи и полное сопротивление теплопередаче [9].

Существует комплексное обследование, которое, помимо инфракрасной термографии, включает в себя контактные методы измерения температуры и определения теплового потока. Такое обследование является самым эффективным методом измерения фактического значения приведенного сопротивления теплопередаче элементов ограждающих конструкций.

После комплексного обследования все полученные данные вносят в энергетический паспорт здания. На основании этого определяется класс энергоэффективности здания.

Как показывает большинство обследований, лишь немногие новые здания имеют высокий класс энергоэффективности, при этом почти половина обследованных объектов имеет низкий класс энергоэффективности [10]. Поэтому тепловизионная съемка в сочетании с вышеизложенными требованиями поможет в дальнейшем увеличить количество энергоэффективных зданий и значительно сократить неоправданные расходы энергии.

**Проведение обследования**

Авторами данной статьи было проведено тепловизионное обследование жилого шестиэтажного дома в городе Нижнекамск, построенного в 2003 году (рис. 2).

Рис. 2. Термограмма западной стороны здания (иллюстрация авторов)

На период строительства данного жилого дома пришлось изменение требований по сопротивлению ограждающих конструкций, появились первые документы, регламентирующие энергосбережение в строительстве. Для достижения повышенного сопротивления теплопередаче было предложено, не меняя конструктивных решений стеновых панелей, изменить их «начинку». Вместо однородного керамзитобетона использовали тяжелый бетон для внутреннего и наружного слоев панели и жестких связей, а между слоями – теплоизоляционный элемент из пенополистирола.

На термограмме (рис. 3) видно, что на третьем этаже панели соседних квартир выполнены по разным технологиям: слева по традиционной технологии, справа – с пенополистирольными вставками. Очевидно, что условия теплоотдачи от наружной поверхности на всех этажах практически одинаковы, температура наружной поверхности нижних этажей на 1,6 °С выше, чем на верхних.

Рис. 3. Термограмма южной стороны здания (иллюстрация авторов)

Пенополистирольные плиты в ограждающих конструкциях с навесным фасадом работают в достаточно жестких условиях. Как показало исследование [11], в солнечные дни на южной стороне ограждения температура пенополистирола может достигать 60 °С. Долговечность пенополистирола в таких условиях вызывает большие сомнения.

Температурное поле на наружной поверхности «новых» панелей свидетельствует о сохранности теплозащитных свойств пенополитстирольных элементов, возможно в конструкции данного типа таких температурных напряжений не возникает.

**Оценка результатов обследования**

Перед авторами была поставлена следующая задача: оценить уровень сопротивления теплопередаче элементов ограждающей конструкции, изготовленных по разным технологиям. Для этого по методике, изложенной в [12], имея температуры поверхности по «глади» (не имеющие видимых теплопроводных включений) и используя данные по скорости ветра и температуре окружающего воздуха, определили коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждения к воздуху.

Зная температуры поверхностей и воздуха и коэффициент теплоотдачи, посчитали тепловой поток. Аналогичным образом, оценили коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения, температуру внутреннего воздуха приняли равной 20 °С. Задаваясь стационарным температурным режимом в ограждении, определили полное сопротивление теплопередаче. Ниже в таблице приведены результаты расчетов.

Таблица

**Теплотехнические характеристики элементов ограждающих конструкций здания**

| Измеряемые объекты | Температура наружного воздуха $t_н$, °С | Температура наружной поверхности стены $t_1$, °С | Коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_л$, Вт/(м$^2$·°С) | Коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$, Вт/(м$^2$·°С) | Коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности $\alpha_н$, Вт/(м$^2$·°С) | Температура внутренней поверхности стены $t_2$, °С | Полное сопротивление теплопередаче R, (м$^2$·°С)/Вт |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Точка 1 | -5 | -4,4 | 3,695 | 15,133 | 18,827 | 18,7 | 2,045 |
| Точка 2 | -5 | -3,7 | 3,778 | 15,133 | 18,842 | 17,2 | 0,853 |

Таким образом, сопротивление теплопередаче традиционных панелей из керамзитобетона, получилось равным 0,853, что несколько ниже требуемых на то время значений. Это объясняется погрешностью натурных измерений, а также представлениями о комфортной температуре внутри помещения для населения. Несмотря на то, что ГОСТ Р 51617-2000 «Жилищно-коммунальные услуги. Общие технические условия» рекомендовал принимать температуру внутри помещения 20 °С и даже 18 °С, большинство граждан предпочитают температуру 23…25 °С. Задаваясь значением температуры внутри помещения 25 °С, получаем полное сопротивление конструкции 1,057 (м$^2$·°С)/Вт для «старых» панелей и 2,488 (м$^2$·°С)/Вт для «новых», что соответствует требованиям, предъявляемым до 2003 года.

**Заключение**

Тепловизионная съемка на сегодняшний день является самым быстрым, продуктивным и экономичным способом получения информации о реальном состоянии тепловой защиты объекта. Своевременное проведение тепловизионного обследования позволит на ранней стадии выявить дефекты, а также спрогнозировать их развитие.

В данной работе было проведено исследование теплозащитных свойств наружных стен здания в натурных условиях, а также анализ их расчетных и фактических значений сопротивления теплопередаче. Исследование оболочки здания дает наглядную качественную картину тепловых характеристик основных элементов ограждающих конструкций. Оно определяет основные недостатки, и помогает в разработке соответствующих мер по энергосбережению для улучшения ограждающих конструкций здания. Рекомендации при проведении и обработки съемки, описанные в статье, позволяют избежать ошибочных выводов о состоянии объекта.

## Список библиографических ссылок

1. Вавилов В. П. Тепловидение для инженеров. Томск, 2012. 127 с.
2. Дроздов В. А., Сухарев В. И. Термография в строительстве. М. : Стройиздат, 1987. 238 с.
3. Оленников А. А., Осокин Е. В., Кирилов П. П., Гуща Е. Л., Николенко В. В. Тепловизионная съемка для поиска скрытых дефектов в тепловой защите зданий // Вестник СГИУ. Серия «Энергетика и электротехнологии». 2015. № 4 (14). С. 36–40.
4. Валиуллина Д. М., Енюшин В. Н. Применение тепловизионной съемки для выявления дефектов строительных ограждающих конструкций и энергетического

оборудования // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 9-10. С. 29–33.
5. Szajewska A. Development of the Thermal Imaging Camera (TIC) Technology. // Procedia Engineering. MBMST. 2017. № 172. P. 1067–1072.
6. Прошкин С. С. К вопросу о точности измерения температуры с помощью тепловизора // Вестник Международной академии холода. 2014. № 1. С. 51–54.
7. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М. : Спектр, 2009. 544 с.
8. Shibaeva G., Ibe E., Portnyagin D. Assessment of the reliability of thermal protection of enclosing structures of buildings at the design and operation stages : MATEC Web of Conferences, VI International Scientific Conference – Integration, partnership and innovation in construction science and education / MGSU. M., 2018. 8 p.
9. Ohlsson K. E. A., Olofsson T. Quantitative infrared thermography imaging of the density of heat flow rate through a building element surface. Appl. Energy. 2014. P. 499–505.
10. Ludwig N., Redaelli V., Rosina E., Augelli F. Moisture detection in wood and plaster by IR thermography // Infrared Physics & Technology. 2004. P. 161–166.
11. Иванцов А. И., Куприянов В. Н., Сафин И. Ш. Натурные исследования эксплуатационных воздействий на фасадные системы с различными видами эффективных утеплителей // Жилищное строительство. 2013. № 7. С. 29–32.
12. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.

**Kabanova Tatyana Vladimirovna**
design engineer
E-mail: kabanova_tatyana95@mail.ru
**LLC «House of Engineering Solutions»**
The organization address: 420088, Russia, Kazan, Pobedy ave., 226
**Enyushin Vladimir Nikolaevich**
candidate of technical sciences, associate professor
Email: enjushin@gmail.com
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., d. 1
**Anufriev Sergey Eduardovich**
head of diagnostics
Email: ase.keravt@gmail.com
**LLC «KER-Avtomatika»**
The organization address: 420080, Russia, Kazan, Yamashev ave., 37b

## Thermal imaging as a method of operational control of heat-shielding properties of enclosing structures

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the research is to study such a method of non-destructive testing of enclosing structures as thermal imaging, and how the selected contactless technology can be effectively used when detecting deficiencies of enclosing structures of buildings.

*Results.* The main results of the research consist in a proposal to use the principles identified on the basis of a survey of a six-story residential panel house in Nizhnekamsk. Various shortcomings in the elements of building envelopes were evaluated, some of which would be difficult to determine using diagnostic methods other than infrared thermography. The existing thermal resistance of the shell elements is quantified.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is that this method will improve the long-term energy efficiency of existing buildings and will further contribute to the designers when choosing elements of building structures and thermal insulation of objects under construction or reconstruction.

**Keywords:** thermal imaging, energy passport, emissivity, thermal reflection, viewing angle, degree of blackness, resistance to heat transfer, contact methods.

## References

1. Vavilov V. P. Thermal imaging for engineers. Tomsk, 2012. 127 p.
2. Drozdov V. A., Sukharev V. I. Thermography in construction. M. : Stroiizdat, 1987. 238 p.
3. Olennikov A. A., Osokin E. V., Kirilov P. P., Gushcha E. L., Nikolenko V. V. Thermal imaging to search for hidden defects in the thermal protection of buildings // Vestnik SGIU. Seri «Energy and Electrotechnology». 2015. № 4 (14). P. 36–40.
4. Valiullina D. M., Enyushin V. N. The use of thermal imaging to identify defects in building envelopes and power equipment // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. 2015. № 9. P. 29–33.
5. Szajewska A. Development of the Thermal Imaging Camera (TIC) Technology. // Procedia Engineering. MBMST. 2017. № 172. P. 1067–1072.
6. Proshkin S. S. On the question of the accuracy of temperature measurement using a thermal imager // Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda. 2014. № 1. P. 51–54.
7. Vavilov V. P. Infrared thermography and thermal control. M. : Spectr, 2009. 544 p.
8. Shibaeva G., Ibe E., Portnyagin D. Assessment of the reliability of thermal protection of enclosing structures of buildings at the design and operation stages : MATEC Web of Conferences, VI International Scientific Conference – Integration, partnership and innovation in construction science and education / MGSU. M., 2018. 8 p.
9. Ohlsson K. E. A., Olofsson T. Quantitative infrared thermography imaging of the density of heat flow rate through a building element surface. Appl. Energy. 2014. P. 499–505.
10. Ludwig N., Redaelli V., Rosina E., Augelli F. Moisture detection in wood and plaster by IR-thermography // Infrared Physics & Technology. 2004. P. 161–166.
11. Ivantsov A. I., Kupriyanov V. N., Safin I. Sh. Field studies of operational impacts on facade systems with various types of effective insulation // Zhilishchnoye stroitelstvo. 2013. № 7. P. 29–32.
12. Fokin K. F. Building heat engineering of enclosing parts of buildings. M. : AVOK-PRESS, 2006. 256 p.

УДК 624.012
**Мирсаяпов Илшат Талгатович**
доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapovit@mail.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
**Ахметзянов Данис Раилевич**
инженер
E-mail: danis2803@mail.ru
**ООО «Современные технологии управления»**
Адрес организации: 420005, Россия, г. Казань, ул. Гагарина, д. 87/68

# Применение шага колонн 18 м в железобетонных каркасах и оценка эффективности применения высокопрочного бетона в каркасах одноэтажных промышленных зданий с различной сеткой колонн

**Аннотация**

*Постановка задачи*. В статье впервые рассматривается возможность применения шага колонн 18 м в железобетонном каркасе одноэтажного промышленного здания, что не характерно для железобетонных конструкций. Цель исследования – выявить и оценить экономическую целесообразность применения высокопрочных бетонов в каркасах одноэтажных промышленных зданий при различных сетках колонн. Для оценки эффективности применения бетонов высокой прочности рассматриваются несущие конструкции каркасов с различными объемно-планировочными и конструктивными решениями.

*Результаты*. Основные результаты исследования состоят в подтверждении гипотезы об эффективности применения высокопрочного бетона в конструкциях одноэтажного промышленного здания. Выполнены статические расчеты и расчеты основных конструкций здания для температурных блоков различных вариаций. Для каждой конструкции выполнен расчет, как для обычного бетона, так и для высокопрочного. Рассматривая каркасы температурного блока с одинаковой площадью, но с различными шагами колонн, выполнен сравнительный анализ и технико-экономическое обоснование.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в подтверждении эффективности применения высокопрочного бетона в несущих конструкциях каркасов промышленных зданий. Применение бетонов высокой прочности позволяет снизить расход основных материалов, вес конструкций и общую стоимость каркаса.

**Ключевые слова:** высокопрочный бетон, одноэтажное промышленное здание, каркас, класс бетона В100, шаг колонн, несущие конструкции.

## Введение

Применение песчаного бетона, в том числе и высокопрочного, – одно из наиболее перспективных направлений для Республики Татарстан, где отсутствуют крупные заложения щебня. Использование бетонов высокой прочности позволяет не только увеличить прочность и несущую способность основных несущих конструкций, но и уменьшить их габариты, собственный вес, расход материалов – бетона и дорогостоящей арматуры.

В различных научных источниках мнения о разграничении высокопрочных и обычных бетонов расходятся. Так, например, существует две точки зрения, какие бетоны следует называть высокопрочными: 1) Высокопрочными следует называть бетон, предел прочности которого больше, чем у применяемого в нем цемента; 2) Высокопрочный бетон – бетон, прочность которого превышает принятые в действующих нормативных документах [1]. Высокопрочным является бетон, класс прочности которого при сжатии ≥ В55.

На кафедре ТСМИК КГАСУ разработаны составы мелкозернистых бетонов высоких марок (М1000 и более) на базе фракционных песков месторождений р. Камы, р. Волги и р. Вятки [2]. Данные разработки позволяют уменьшить себестоимость бетона

как строительного материала. Строительство из таких бетонов имеет большой экономический потенциал.

В работах [3-11] рассмотрена целесообразность применения высокопрочного бетона в конструкциях различных зданий и сооружений. Анализируя результаты работ авторов, исследовавших данную проблему, можно сделать вывод о том, что конструктивные решения с использованием бетонов высокой прочности, позволяют снизить общий вес элементов, уменьшить расход основных материалов, увеличить несущую способность и жесткость конструкций.

Таким образом, вопрос об эффективности применения высокопрочных бетонов в каркасах одноэтажных промышленных зданий является актуальным.

**Общий план исследований**

В исследовании рассматривается один температурный блок промышленного сооружения. Для оценки экономического эффекта рассчитаны каркасы в трех различных вариациях: шаг колонн в продольном направлении 12 м, пролет стропильной конструкции – 24 м с подстропильными и без применения подстропильных ферм; шаг колонн –18 м с применением подстропильных ферм (рис. 1-3).

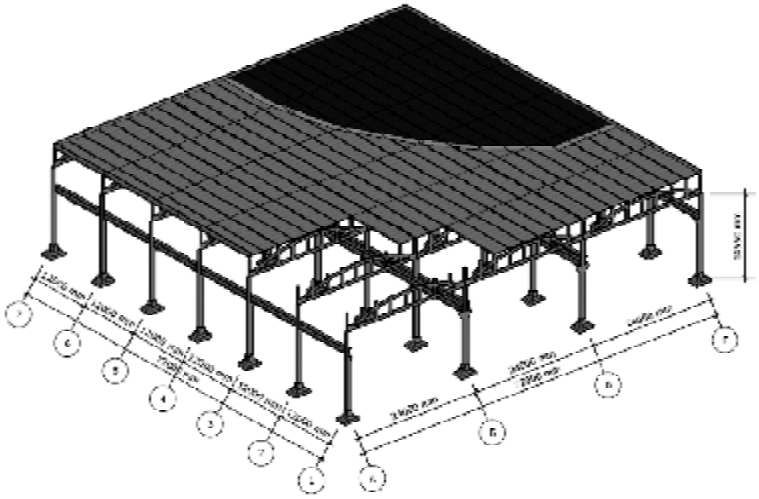


Рис. 1. Вариант каркаса одноэтажного промышленного здания
с шагом колонн в продольном направлении – 12 м (иллюстрация авторов)

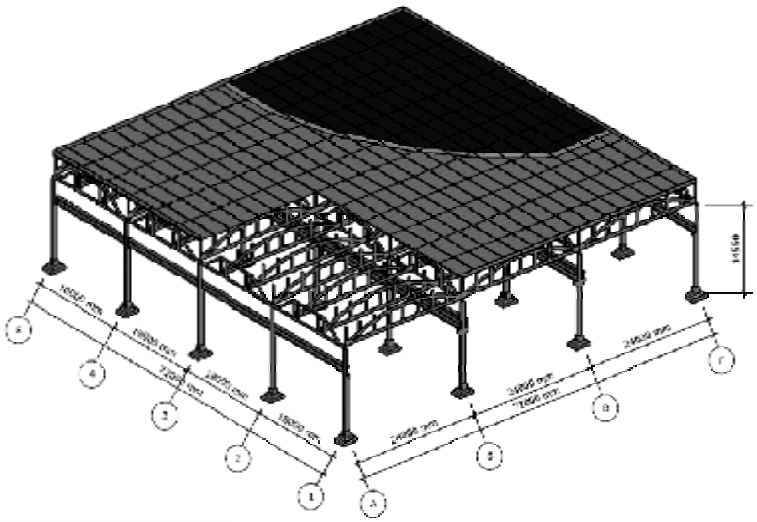


Рис. 2. Вариант каркаса одноэтажного промышленного здания
с шагом колонн в продольном направлении – 12 м с применением подстропильных ферм
(иллюстрация авторов)

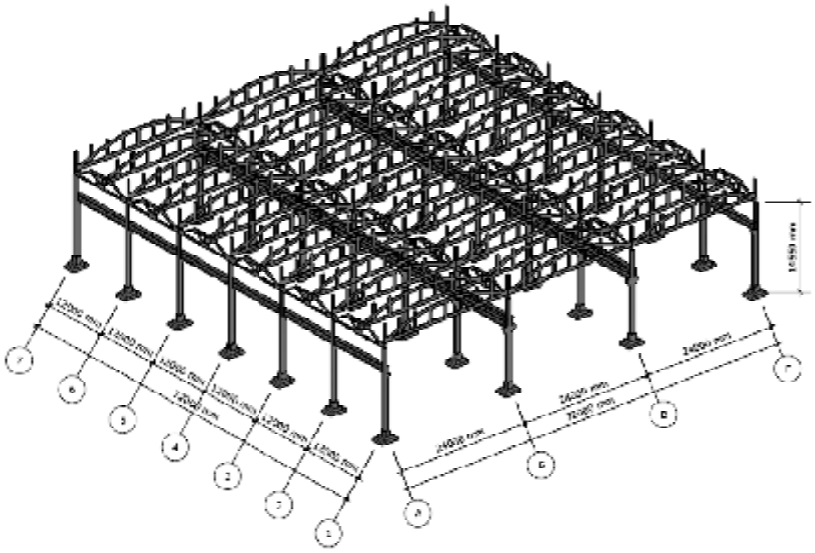


Рис. 3. Вариант каркаса одноэтажного промышленного здания
с шагом колонн в продольном направлении – 18 м с применением подстропильных ферм
(иллюстрация авторов)

Во всех трех вариантах площадь помещения одинаковая, габариты температурного блока – 72×72 м. Большой шаг колонн, как в крайних, так и в средних рядах, позволяет получить гибкую планировку, увеличить полезную площадь помещения, уменьшить общее количество монтируемых элементов. Каркас с шагом колонн в продольном направлении 18 м является экспериментальным. В данном случае рассмотрены подстропильные фермы пролетом 18 м, которые отсутствуют в типовых сериях, а также железобетонные подкрановые балки пролетом 18 м, которые не выполняются в железобетонном исполнении.

Для всех трех вариантов каркаса выполнен сбор нагрузок, выполнены статические расчеты поперечных рам, стропильных конструкций и подстропильных ферм. Реализованный в программном комплексе ЛИРА-САПР метод конечных элементов позволил определить усилия для расчета элементов каркаса. Выполнены расчеты основных несущих конструкций каркасов одноэтажных промышленных зданий (ОПЗ), подобрана рабочая и поперечная арматура, сконструированы сечения элементов.

**Стропильные конструкции**

В статье «Оценка эффективности применения высокопрочного бетона в стропильных конструкциях одноэтажных промышленных зданий» Мирсаяпова Ил. Т. и Ахметзянова Д. Р. было подробно рассмотрено экономическое обоснование применения высокопрочного бетона в различных стропильных конструкциях ОПЗ. Согласно результатам, полученным в предыдущем исследовании, можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразными с точки зрения экономии материалов являются фермы с шагом 6 м и 12 м. Эти стропильные конструкции использованы в каркасах, указанных на рис. 1-3. Применение бетона класса В100, по сравнению с обычным бетоном класса В30, позволило сократить объем бетона на 32-47 %, расход арматуры – на 30-42 %. Подсчитана общая стоимость стропильных конструкций на один температурный блок при различном шаге ферм. Наибольшая экономия, при использовании бетонов высокой прочности, по сравнению с обычными бетонами, наблюдается при шаге стропильных конструкций – 6 м и пролете – 24 м. Это достигается за счет меньших нагрузок, приходящихся на узлы фермы. Общая экономия для данного случая составила 717 837,12 руб. или 34,1 %, по сравнению с фермами, выполненными из класса бетона В30.

**Подстропильные фермы**

Применение высокопрочного бетона в подстропильных фермах позволило уменьшить сечение элементов фермы, что снизило расход бетона на 54 % для фермы

пролетом 18 м и на 55 % для ферм пролетом 12 м. Кроме того, удалось снизить расход арматуры на 46 % и 15,5 %, для ферм пролетом 18 м и 12 м соответственно. Сравнительный анализ экономии расхода бетона представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Расход бетона подстропильных ферм**

| Ферма | Бетон В30 | | | | | | | Бетон В100 (на песчаном заполнителе) | | | | | | | Экономия |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Сечение элементов, м | | | | | | Объем бетона $м^3$ | Сечение элементов, м | | | | | | Объем бетона $м^3$ | |
| | Нижний пояс | | Верхний пояс | | Стойки | | | Нижний пояс | | Верхний пояс | | Стойки | | | $м^3$ / % |
| | b | h | b | h | b | h | | b | h | b | h | b | h | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Пролет 18 м | 0,28 | 0,46 | 0,28 | 0,42 | 0,28 | 0,35 | **6,45** | 0,20 | 0,25 | 0,20 | 0,25 | 0,20 | 0,25 | **2,98** | **3,47** / **53,8** |
| Пролет 12 м | 0,28 | 0,46 | 0,28 | 0,42 | 0,28 | 0,42 | **3,85** | 0,20 | 0,25 | 0,20 | 0,25 | 0,20 | 0,25 | **1,73** | **2,12** / **55,06** |

Наибольший экономический эффект наблюдается в подстропильных фермах пролетом 18 м. Общая стоимость конструкций на один температурный блок ферм пролетом 18 м больше стоимости ферм пролетом 12 м, что связано большим расходом материалов.

Общая стоимость конструкций подстропильных ферм, выполненных из высокопрочного бетона, снизилась на 35 % для ферм пролетом 12 м, и на 46 % для ферм пролетом 18 м.

**Крайние и средние колонны**

Применение высокопрочного бетона в колоннах каркаса ОПЗ позволило сократить расход бетона на 30-41 % при различных шагах поперечных рам (табл. 2), уменьшить расход арматуры на 26-38 %. Посчитана общая стоимость конструкций для различных объемно-планировочных решений, выявлена общая экономия. Общая экономия при шаге колонн – 12 м, составила 354 795,63 руб. или 30,4 %. При шаге колонн – 18 м, экономический эффект достиг – 286 463,00 руб. или 31,34 %.

Таблица 2

**Расход бетона крайних и средних колонн**

| Элемент | Объема бетона | | Экономия, $м^3$ | Экономия, % |
|---|---|---|---|---|
| | В30 | В100 | | |
| Крайняя колонна, при шаге 12 м | 6,03 | 3,55 | 2,48 | 41,10 |
| Средняя колонна, при шаге 12 м | 6,41 | 4,37 | 2,04 | 31,88 |
| Крайняя колонна, при шаге 18 м | 6,50 | 4,02 | 2,47 | 38,08 |
| Средняя колонна, при шаге 18 м | 6,87 | 4,82 | 2,05 | 29,84 |

**Подкрановые балки**

При расчете подкрановых балок, выполненных из высокопрочного бетона, не изменялось сечение конструкции. Несмотря на более дорогой бетон, планировалось получить экономический эффект за счет снижения расхода арматуры.

Для подкрановой балки пролетом 12 м, объем бетона конструкций, выполненных, как из обычного, так и из высокопрочного бетона, равен 4,1 $м^3$. Расход арматуры для подкрановой балки из обычного бетона равен 490,85 кг, что близко к значениям, указанным в сериях для данной конструкции. Расход арматуры для балки, выполненной из высокопрочного бетона, составил 440,62 кг. Общая стоимость балки из обычного бетона – 38 736,55 руб.; балки из высокопрочного бетона – 40 082,16 руб. Таким образом,

применение высокопрочного бетона в подкрановых балках пролетом 12 м, нецелесообразно, ввиду большей стоимости высокопрочного бетона.

Так как железобетонные подкрановые балки применяются при шагах колонн 6 м и 12 м, а при шаге колонн 18 м используются, как правило, стальные подкрановые балки, принято решение проанализировать возможность использования подкрановых балок пролетом 18 м, выполненных из высокопрочного бетона. Анализируя результаты расчета подкрановой балки пролетом 18 м, можно сделать следующие вывод, что в балке, выполненной из обычного бетона класса В30 появляется большой расход сжатой арматуры, который отсутствует в балке пролетом 12 м. Требуемая площадь преднапрягаемой арматуры – 8417,63 мм$^2$, что равно семи стержням, диаметром 40. Такой перерасход сечения нецелесообразен и невозможен ввиду переармированности сечения.

Применение высокопрочного бетона в подкрановых балках пролетом 18 м позволило сократить сжатую арматуру (ставится конструктивно, и принимается 2 Ø10) и уменьшить площадь напрягаемой арматуры. Экономия, по сравнению с балкой, выполненной из обычного бетона, составила порядка 46 тыс. руб.

Таким образом, использование высокопрочного бетона позволяет выполнять подкрановые балки пролетом 18 м в железобетонном исполнении.

**Технико-экономическое сравнение каркасов с различными конструктивными и объемно-планировочными решениями**

Для того, чтобы выявить наибольший экономический эффект от применения высокопрочного бетона в несущих конструкциях одноэтажного промышленного здания, необходимо провести сравнительные анализы по следующим направлениям:

1. Выявить экономию от расхода материала и стоимости конструкций от применения высокопрочного бетона. Сравнить один и тот же каркас для различных классов бетона;

2. Провести сравнение между каркасом: «Шаг колонн в продольном направлении – 12 м с применением подстропильных ферм» (рис. 2), с каркасом: «Шаг колонн в продольном направлении – 12 м с использованием фахферковых колонн в продольном направлении» (рис. 1);

3. Сравнить каркас с шагом колонн 12 м с каркасом, где шаг колонн – 18 м (рис. 3).

Температурный блок с габаритами 72×72 м, шаг колонн 12 м. На основе результатов, полученных в исследовании, подсчитывается общая стоимость несущих конструкций на один температурный блок. Фахверковые колонны приняты согласно типовой серии 1.030.9-2 выпуск 5. Приняты колонны марки КБ-80-2 Общая стоимость конструкций, выполненных и обычного бетона составила 3 500 368,67 руб., в то время, как стоимость конструкций, выполненных из высокопрочного бетона составила 2 560 825,12 руб. Экономия в данном случае составила 939 543,53 руб. или 26,8 %. Наглядно экономия от применения высокопрочного бетона представлена на рис. 4.

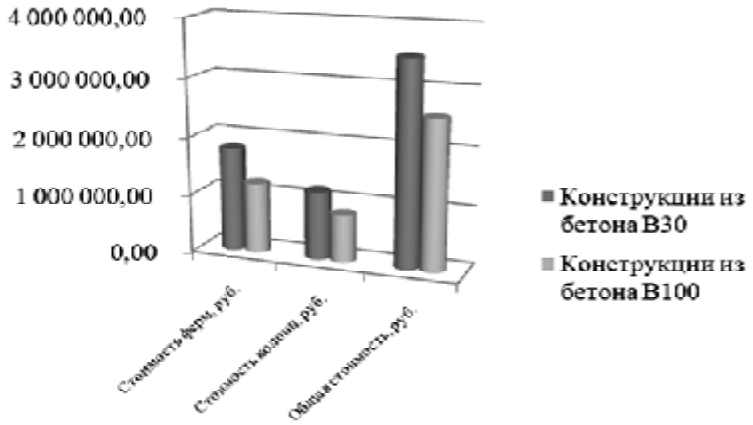



Рис. 4. Диаграмма сравнения стоимости конструкций,
выполненных из различных классов бетона для каркаса с шагом колонн –12 м
(иллюстрация авторов)

Температурный блок с габаритами 72×72 м, шаг колонн 12 м с применением подстропильных ферм. В данном каркасе, по сравнению с предыдущим, добавляются подстропильные фермы, которые позволяют исключить фахверковые колонны в продольном направлении.

Общая стоимость конструкций, выполненных из бетона класса В30, равна 4 140 040,58 руб., конструкций, выполненных из класса бетона В100 – 2 847 093,34 руб. Экономия составила 1 292 947,24 руб. или 31,23 %. Сравнительная диаграмма представлена на рис. 5.

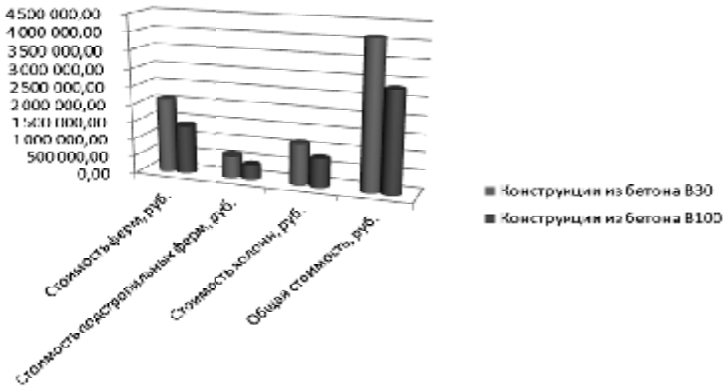



Рис. 5. Диаграмма сравнения стоимости конструкций, выполненных из различных классов бетона для каркаса с шагом колонн – 12 м, с применением подстропильных ферм (иллюстрация авторов)

Несмотря на уменьшение стоимости стропильных конструкций, при применении в каркасе подстропильных ферм, ввиду уменьшения шага стропильных ферм и соответственно нагрузок на них, в данном случае наблюдается общее удорожание стоимости конструкций на 640 000 руб., для конструкций из обычного бетона и на 286 268 руб. для конструкций из высокопрочного бетона. Такое удорожание наблюдается за счет увеличения общего числа стропильных конструкций и добавления таких элементов, как подстропильная ферма. Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее экономический выгодный вариант, из двух рассматриваемых, является температурный блок с габаритами 72×72 м, шаг колонн 12 м, без подстропильных ферм, с использованием фахверковых колонн в продольном направлении.

Температурный блок с габаритами 72×72 м, шаг колонн 18 м с применением подстропильных ферм. Стоимость конструкций, выполненных из обычного тяжелого бетона, равна 4 164 180,38 руб., выполненных из высокопрочного бетона – 2 847 584,05 руб. Экономия составила – 1 316 596,33. или 31,62 %. Сравнительный анализ представлен на рис. 6.

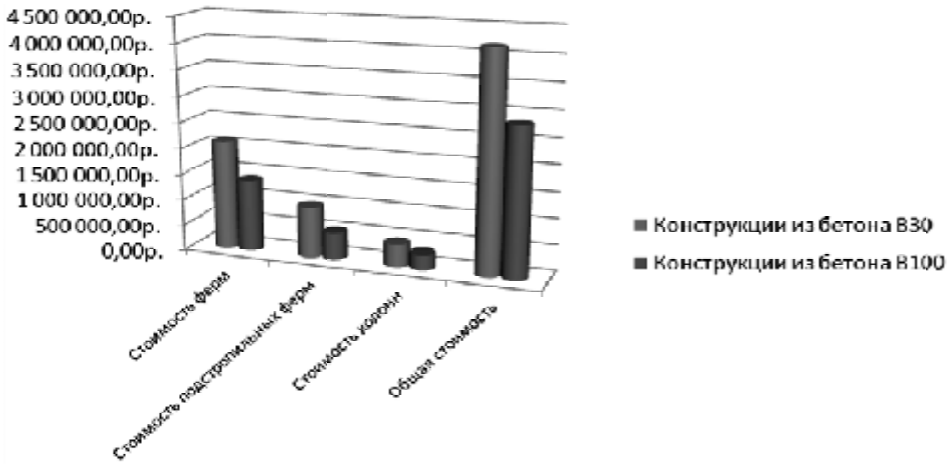



Рис. 6. Диаграмма сравнения стоимости конструкций, выполненных из различных классов бетона для каркаса с шагом колонн –18 м, с применением подстропильных ферм (иллюстрация авторов)

Таким образом, сравнивая конструкции из обычного и высокопрочного бетона, можно сделать вывод о том, что наибольшая экономия достигается в каркасе с шагом колонн – 18 м, однако, наименьшая общая стоимость конструкций наблюдается в каркасе с шагом колонн – 12 м, без применения подстропильных ферм.

**Заключение**

В данном исследовании подтверждена гипотеза об эффективности применения высокопрочного бетона в конструкциях ОПЗ.

Для стропильных конструкций наибольший экономический эффект наблюдается в каркасах при шаге ферм, равном 6 м. Экономия в данном случае составила 717 837 руб. или 34,1 %, по сравнению с фермами, выполненными из бетона класса бетона В30.

Экономический эффект достигнут благодаря уменьшению габаритов сечений фермы и уменьшению расхода арматуры. В подстропильных фермах применение бетона класса В100 позволило уменьшить расход, как бетона, так и стали, а также снизить общую стоимость конструкций на 35 % для подстропильных ферм пролетом 12 м, и на 46 % для ферм пролетом 18 м. В колоннах снижается расход бетона на 30-41 % и арматуры на 26-38 %. Общая стоимость колонн уменьшается на 30-32 %. В подкрановых балках пролетом 12 м применение высокопрочного бетона нерационально, ввиду большей стоимости высокопрочного бетона. Однако в подкрановых балках, пролетом 18 м, наблюдается экономический эффект от применения бетона класса В100.

Рассматривая каркасы температурного блока с одинаковой площадью, но с различными шагами колонн в продольном направлении, можно сделать ряд заключений: наименьшая стоимость конструкций наблюдается при шаге колонн 12 м, без подстропильных ферм, наибольшая экономия при использовании бетонов высокой прочности, по сравнению с обычными бетонами, наблюдается в каркасах с шагом колонн 18 м.

Применение высокопрочного бетона позволяет сократить общую стоимость конструкций от 939 543 руб. до 1 316 596,33 руб., в зависимости от объемно-планировочных решений каркаса. Экономический эффект для одного температурного блока одноэтажного промышленного здания составляет 27-32 %.

## Список библиографических ссылок


1. Берг О. Я., Щербаков Е. Н., Писанко Г. Н. Высокопрочный бетон. М. : Издательство литературы по строительству, 1971. С. 192–195.
2. Хозин В. Г., Никитин Г. П. Татарский монолит потяжелеет // Строительство. 2017. № 12. С. 44–46.
3. Кучук Е. В. Высокопрочный бетон, проблемы и задачи : сб. ст. VII студенческой научно-технической конференции / БНТУ. Минск, 2015. С. 27–32.
4. Красиникова Н. М., Морозов Н. М., Боровских И. В., Хозин В. Г. Опыт внедрения мелкозернистых бетонов при производстве дорожных плит // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 7. С. 46–54.
5. Мкртчян А. М., Аксенов В. Н., Маилян Д. Р., Блягоз А. М., Сморгунова М. В. Особенности конструктивных свойств высокопрочных бетонов // Новые технологии. 2013. № 3. С. 135–143.
6. Мещерин В. С. Высокопрочные и сверхпрочные бетоны: технологии производства и сферы применения // СтройПРОФИль. 2008. № 8 (70). С. 32–35.
7. Аналитическое описание диаграммы деформирования высокопрочных бетонов // IVDON.RU : ежедн. интернет-изд. 2013. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1818 (дата обращения 11.04.2019).
8. Kovačević I., Džidić S., High-strength concrete (HSC) material for high-rise buildings // 12th Scientific Research Symposium with International Participation «Metallic and Nonmetallic Materials: production-properties-application». 2018. № 12. P. 214–223.
9. Abid F., Patil R. C. Development of High Performance Concrete // International Journal of Trend in Scientific Research and Development. 2018. № 2. P. 1465–1479.

10. Sohoni V., Jain S., Bajaj S., Shekar H., Kumar Verma S. High Performance Concrete // International Journal for Innovative Research in Science & Technology. 2017. Vol. 4. № 1. P. 27–35.
11. Choi E. S., Lee J. W., Kim S. J., Kwark J. W. A Study on the Bond Strength between High Performance Concrete and Reinforcing Bar // Engineering. 2015. Vol. 7. № 7. P. 373–378.

**Mirsayapov Ilshat Talgatovich**
doctor of technical science, professor
E-mail: mirsayapovit@mail.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Akhmetzyanov Danis Railevich**
engineer
E-mail: danis2803@mail.ru
**LTD «Modern technologies of management»**
The organization address: 420005 Russia, Kazan, Gagarin st., 87/68

## The use of column spacing of 18 m in reinforced concrete frames and evaluation of the effectiveness of high-strength concrete in frames of one-storey industrial buildings with different grid columns

**Abstract**

*Problem statement.* The article for the first time considers the possibility of using the step of 18 m columns in the reinforced concrete frame of a single-storey industrial building, which is not typical for reinforced concrete structures. The purpose of the study is to identify and evaluate the economic feasibility of the use of high-strength concrete in drames of one-story industrial buildings with different column grids. There are considered supporting structures of frames with different space-planning and design solutions to assess the effectiveness of the use of high-strength concrete.

*Results.* The main results of the study are to confirm the hypothesis about the effectiveness of the use of high-strength concrete in the construction of a one-story industrial building. Static calculations and calculations of the basic structures of the building for temperature blocks of various variations are performed. For each construction, the calculation is made, both for ordinary concrete and for high strength. Considering the frameworks of the temperature unit with the same area, but with different pitch of the columns, a comparative analysis and feasibility study were carried out.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is to confirm the effectiveness of the use of high-strength concrete in the supporting structures of frames of industrial buildings. The use of high-strength concrete allows to reduce the consumption of basic materials, the weight of structures and the total cost of the frame.

**Keywords:** high-strength concrete, one-story industrial building, frame, concrete class B100, column spacing, supporting structures.

### References

1. Berg O. Ya., Scherbakov E. N., Pisanko G. N. High-strength concrete. M. : Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, 1971. P. 192–195
2. Khozin V. G., Nikitin G. P. Tatar monolith becomes heavy // Stroitel'stvo. 2017. № 12. P. 44–46.
3. Kuchuk E. V. High-strength concrete, problems and challenges : dig. of art. VII student science conference / BNTU. Minsk, 2015. P. 27–32.

4. Krasinikova N. M., Morozov N. M., Borovskikh I. V., Khozin V. G. Experience of introducing fine-grained concrete in the production of road plates // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2014. № 7. P. 46–54.
5. Mkrtchyan A. M., Aksenov V. N., Mailyan D. R., Blyagoz A. M., Smorgunova M. V. Features of the structural properties of high strength concrete // Novye tekhnologii. 2013. № 3. P. 135–143.
6. Meshcherin V. S. High-strength and heavy duty concretes: production technologies and applications // StroyPROFIl'. 2008. № 8 (70). P. 32–35.
7. Analytical description of the high-strength concrete strain diagram // IVDON.RU : daily. internet-edit. 2013. URL http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1818 (reference date: 11.04.2019).
8. Kovačević I., Džidić S., High-strength concrete (HSC) material for high-rise buildings // 12th Scientific Research Symposium with International Participation «Metallic and Nonmetallic Materials: production-properties-application». 2018. № 12. P. 214–223.
9. Abid F., Patil R. C. Development of High Performance Concrete // International Journal of Trend in Scientific Research and Development. 2018. № 2. P. 1465–1479.
10. Sohoni V., Jain S., Bajaj S., Shekar H., Kumar Verma S. High Performance Concrete // International Journal for Innovative Research in Science & Technology. 2017. Vol. 4. № 1. P. 27–35.
11. Choi E. S., Lee J. W., Kim S. J., Kwark J. W. A Study on the Bond Strength between High Performance Concrete and Reinforcing Bar // Engineering. 2015. Vol. 7. № 7. P. 373–378.

УДК 624.131.522:691.4
**Мирсаяпов Илизар Талгатович**
доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
**Сабирзянов Даниль Дамирович**
ассистент
E-mail: danil198900@mail.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

# Экспериментальные исследования глинистых грунтов в объемных лотках при режимном статико-циклическом нагружении

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью проведения лотковых экспериментальных исследований является развитие теории прочности и деформирования глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия при комбинированных чередующихся длительно статическом и циклическом нагружениях.

*Результаты.* В качестве результата исследований были получены новые экспериментальные данные об особенностях напряженно-деформированного состояния глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия при комбинированном чередующемся длительно статико-циклическом нагружении, а также развитие осадок оснований моделей фундамента в лабораторных условиях.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что в экспериментальных исследованиях определения изменения прочности и деформируемости глинистых грунтов при комбинированном чередующемся длительно статико-циклическом нагружении, необходимы для модернизации инженерных методик расчета осадок и несущей способности оснований фундаментов.

**Ключевые слова:** трехосное сжатие, глинистые грунты, статическое нагружение, циклическое нагружение, комбинированное нагружение, несущая способность, прочность, удельное сцепление, упрочнение.

## Ведение

До сегодняшнего дня одной из фундаментальных задач при проектировании, которые так же необходимо учитывать в процессе эксплуатации зданий и сооружений при влиянии статических и циклических нагрузок, является оценка несущей способности и прогноз осадок оснований фундаментов с учетом изменения физико-механических характеристик грунтов при комбинированном чередующемся длительно статико-циклическом нагружении [1-5].

Поэтому проведенные экспериментальные исследования определения изменения прочности и деформируемости глинистых грунтов при комбинированном чередующемся длительно статико-циклическом нагружении в объемных лотках, необходимы для модернизации инженерных методик расчета осадок и несущей способности оснований фундаментов, так как знание природы грунтов, условий их формирования и изменений в процессе будущего существования, их природного состава и строения, сильно действующих на их физико-механические характеристики, дает возможность грамотно оценить их прочностные и деформационные свойства во время проектирования и в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

## Экспериментальные исследования

Для экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния глинистого основания под плитным фундаментом при комбинированном чередующемся длительно статико-циклическом нагружении в лабораторных условиях проведены

штамповые лотковые испытания глинистого грунта нарушенной структуры со следующими физико-механическими характеристиками: $\gamma$=19,4 кН/м$^3$, W = 23 %, $W_L$=40,1 %, $W_P$=22,8 %, $I_P$=17,3 %, $I_L$=0,012 Д.е., e=0,81 Д.е, $S_r$=0,73 Д.е.

Экспериментальные исследования состояли из нескольких этапов, которые имели свои методические особенности и, в той или иной мере, влияли на конечный результат:

1. Разработка методики проведения испытания.
2. Изготовление опытных образцов.
3. Изготовление тензодатчиков сопротивления.
4. Загружение моделей и контроль нагрузки в течение опыта.
5. Измерение прогибов, деформаций и осадок модели.
6. Обработка результатов испытания.

Для установления зависимости вертикальных перемещений в грунте от времени действия нагрузки, от приложенных циклических нагрузок, определения деформаций грунтового массива в основании плитного фундамента и в массиве, окружающем при кратковременном статическом, длительно статическом, циклическом и комбинированном чередующихся длительно статических и циклических воздействиях внешней нагрузки испытания проводились методами статических вдавливающих нагрузок и циклических нагружений.

Экспериментальные исследования проводились в лотке с размерами 1000×1000×1000 мм лаборатории кафедры ОФДСиИГ Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Показания деформаций снимались с помощью Автоматического Измерителя Деформаций (АИД-4).

В экспериментах нагрузка передавалась через конструкцию жесткой рамы, при помощи гидравлического домкрата. В качестве модели плитного фундамента принята железобетонная плита. Измерения вертикальных перемещений модели плитного фундамента осуществлялась индикаторами часового типа. Внешний вид экспериментальной установки приведен на рис. 1. Схема нагружения глинистого основания и размеры плиты приведены на рис. 2.

Для замеров напряжений в грунтовом массиве основания штампа были размещены грунтовые датчики давлений. Принципиальная схема расположения датчиков в грунтовом основании приведены на рис. 3.

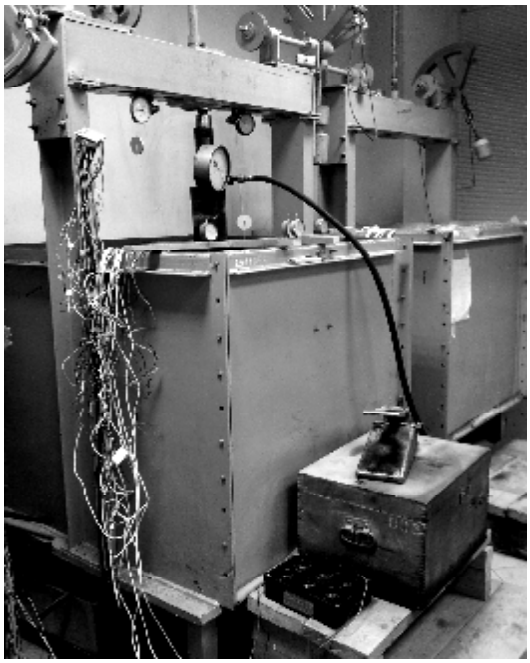


Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки (иллюстрация авторов)

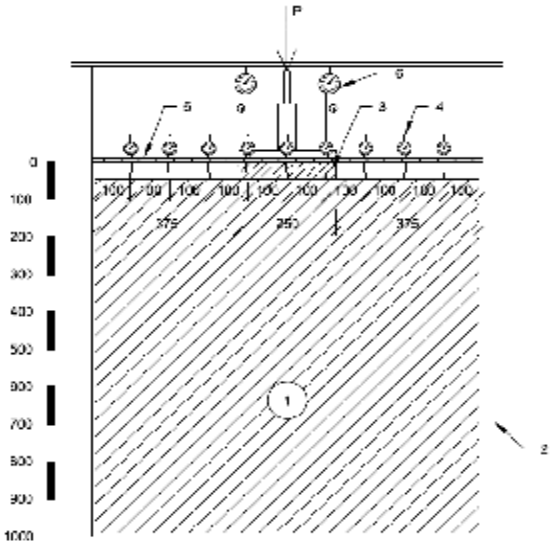


Рис. 2. Схема нагружения глинистого основания:
1 – грунтовое основание; 2 – лоток;
3 – модель плитного фундамента (штамп);
4 – индикатор часового типа;
5 – рама для крепления индикаторов часового типа; 6 – прогибометр (иллюстрация авторов)

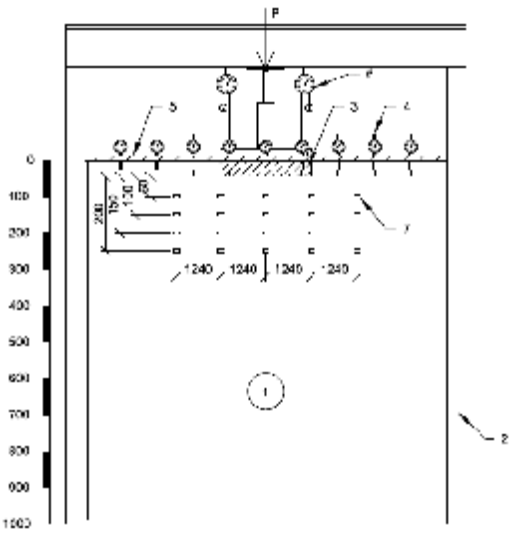


Рис. 3. Схема расположения датчиков в грунтовом основании:
1 – грунтовый массив; 2 – объемный лоток;
3 – штамп 250×250×40 мм;
4 – индикаторы часового типа;
5 – рама для установки индикаторов;
6 – прогибомер; 7 – грунтовые датчики (иллюстрация авторов)

**Результаты экспериментальных исследований**

По результатам экспериментальных исследований, проведенных в объемном лабораторном лотке, построены графики изменения осадки модели плитного фундамента (рис. 4-8) при комбинированном чередующемся длительно статико-циклическом нагружении, на которых представлено, что деформации с различной интенсивностью развивались на каждом рассматриваемом блоке нагружения на протяжении всего испытания, причем интенсивность их развития зависела от координаты рассматриваемой точки.

Анализируя результаты экспериментальных исследований глинистого грунта при комбинированном чередующемся длительно статико-циклическом нагружении, видно, что происходит изменение всех деформационных и прочностных параметров глинистого грунта.

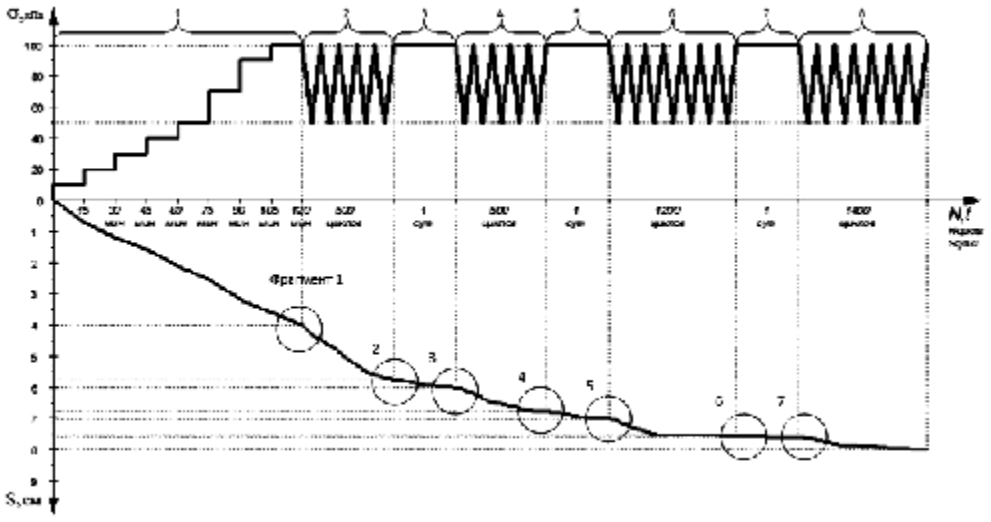
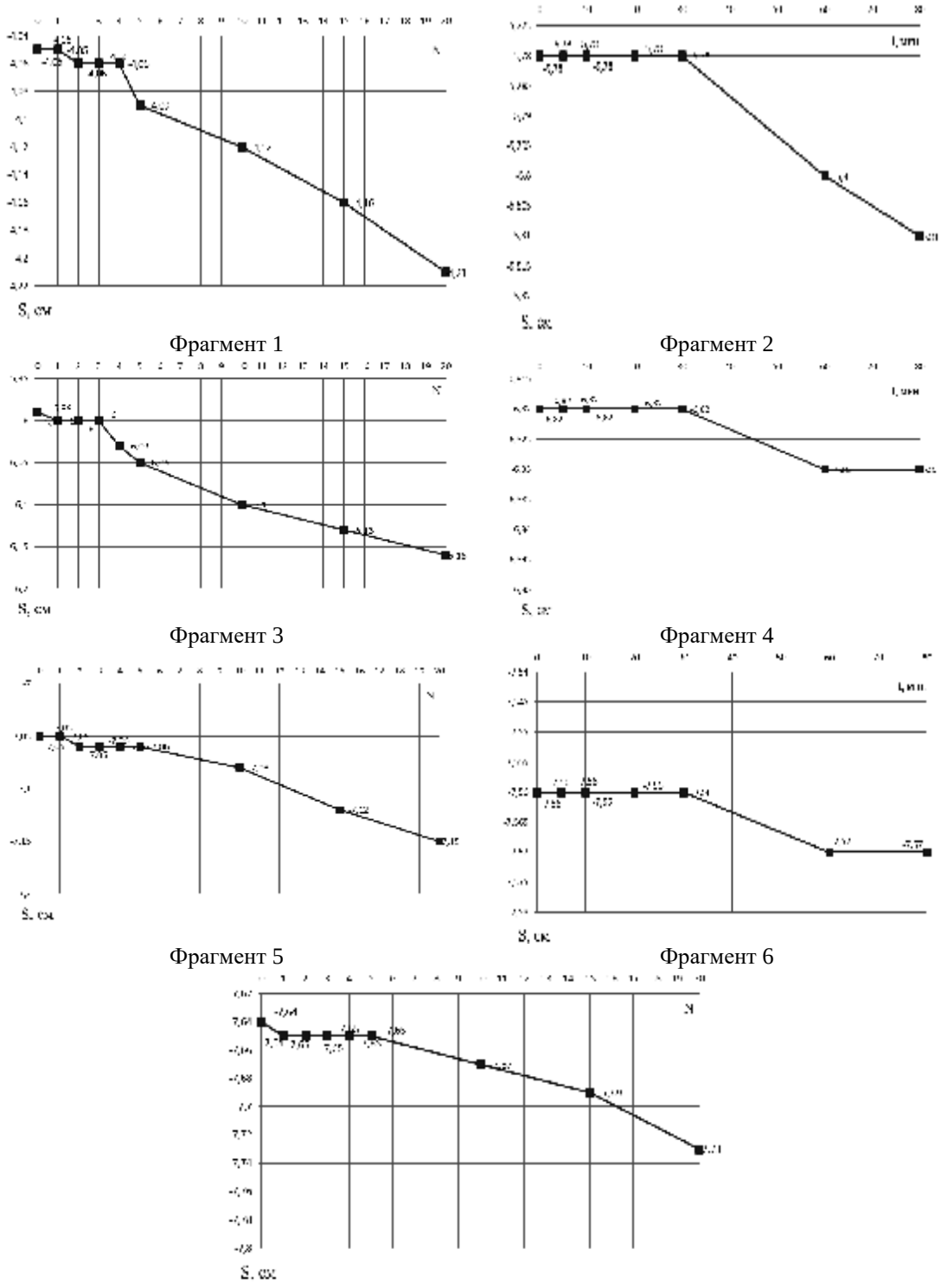


Рис. 4. График развития осадки модели плитного фундамента при комбинированном чередующемся длительно статическом и циклическом нагружении (эксперимент № 1) (иллюстрация авторов)



Фрагмент 1 Фрагмент 2

Фрагмент 3 Фрагмент 4

Фрагмент 5 Фрагмент 6

Фрагмент 7

Рис. 5. Фрагменты графика развития осадки модели плитного фундамента при комбинированном чередующемся длительно статическом и циклическом нагружении (эксперимент № 1) (иллюстрация авторов)

Рассмотрим изменения вертикальной деформации эксперимента № 1 (рис. 4-5). Сначала к образцу ступенями прикладывалась вертикальная статическая нагрузка (блок 1) до $\sigma^{max}$=100 кПа. Каждая ступень нагружения выдерживалась в течение 15 минут согласно программе испытания, где после статического нагружения осадка основания составила 4,05 см.

После 1 блока статического нагружения переходим к блоку 2 с циклическим нагружением, где максимальное вертикальное напряжение составляет $\sigma^{max}$=100 кПа. За весь 2 блок циклического нагружения было выполнено 500 циклов, где общая осадка основания составила 5,78 см.

Далее, при переходе от блока с циклическим нагружением (блок 2) к блоку с длительно статической нагрузкой (блок 3), в момент изменения режима нагружения изменение осадки основания не происходило, только после 30 минут осадка увеличилась незначительно на 0,02 см и общая осадка составила 5,80 см. Блок 3 с длительно статическим нагружением продолжился 1 сутки, где осадка основания увеличилась на 0,21 см и общая осадка основания составила 5,99 см.

При переходе от блока с длительно статического нагружения (блок 3) к циклическому нагружению (блок 4) в момент изменения режима нагружения, осадка основания до 3 циклов нагружения не изменяется, а затем, на 4 цикле нагружения (рис. 4-5), вертикальные деформации увеличились на 0,03 см. За весь 4 блок циклического нагружения было выполнено еще 500 циклов, где осадка основания увеличилась на 0,83 см и общая осадка основания составила 6,82 см.

Далее, снова при переходе от блока с циклическим нагружением (блок 4) к блоку с длительно статической нагрузкой (блок 5), в момент изменения режима нагружения изменение осадки основания не происходило, только после 50 минут осадка увеличилась незначительно на 0,01 см и общая осадка составила 6,83 см. Блок 5 с длительно статическим нагружением продолжился 1 сутки, где осадка основания увеличилась на 0,23 см и общая осадка основания составила 7,05 см.

При переходе от блока с длительно статического нагружения (блок 5) к циклическому нагружению (блок 6), в момент изменения режима нагружения осадка основания до 2 циклов нагружения не изменяются, а затем, на 3 цикле нагружения (рис. 4-5) вертикальные деформации увеличились на 0,01 см. За весь 6 блок циклического нагружения было выполнено еще 1200 циклов, где осадка основания увеличилась на 0,51 см и общая осадка основания составила 7,56 см.

Далее снова при переходе от блока с циклическим нагружением (блок 6) к блоку с длительно статической нагрузкой (блок 7), в момент изменения режима нагружения изменение осадки основания не происходило, только после 50 минут осадка увеличилась незначительно на 0,01 см и общая осадка составила 5,57 см (рис. 4). Блок 7 с длительно статическим нагружением продолжился 1 сутки, где осадка основания увеличилась на 0,08 см и общая осадка основания составила 7,64 см.

При переходе от блока с длительно статического нагружения (блок 7) к циклическому нагружению (блок 8), в момент изменения режима нагружения осадка основания до 5 циклов нагружения не изменяются, а за тем после 5 цикла нагружения (рис. 4-5) вертикальные деформации увеличились на 0,02 см. За весь 8 блок циклического нагружения было выполнено еще 1400 циклов, где осадка основания увеличилась на 0,36 см и общая осадка основания составила 8,00 см.

При переходе от блока с длительно статического нагружения (блок 5) к циклическому нагружению (блок 6), в момент изменения режима нагружения осадка основания до 2 циклов нагружения не изменяются, а затем, на 3 цикле нагружения (рис. 4), вертикальные деформации увеличились на 0,01 см. За весь 6 блок циклического нагружения было выполнено еще 1200 циклов, где осадка основания увеличилась на 0,51 см и общая осадка основания составила 7,56 см.

Далее, снова при переходе от блока с циклическим нагружением (блок 6) к блоку с длительно статической нагрузкой (блок 7), в момент изменения режима нагружения изменение осадки основания не происходило, только после 50 минут осадка увеличилась незначительно на 0,01 см и общая осадка составила 5,57 см (рис. 4). Блок 7 с длительно статическим нагружением продолжился 1 сутки, где осадка основания увеличилась на 0,08 см и общая осадка основания составила 7,64 см.

При переходе от блока с длительно статического нагружения (блок 7) к циклическому нагружению (блок 8), в момент изменения режима нагружения осадка основания до 5 циклов нагружения не изменяются, а затем, после 5 цикла нагружения (рис. 4-5), вертикальные деформации увеличились на 0,02 см. За весь 8 блок

циклического нагружения было выполнено еще 1400 циклов, где осадка основания увеличилась на 0,36 см и общая осадка основания составила 8,00 см.

Далее, при переходе на блоки с циклическим нагружением, наблюдается увеличение скорости накопления деформаций. Необходимо отметить, что накопление общих деформаций происходит, в основном, за счет пластической (неупругой) составляющей. Упругие деформации в пределах блоков нагружений практически не изменяются (рис. 4-5).

Также, по полученным показаниям грунтовых датчиков, размещенных в массиве глинистого основания (рис. 3) модели плитного фундамента, для каждого этапа нагружения построены эпюры деформаций (рис. 6).

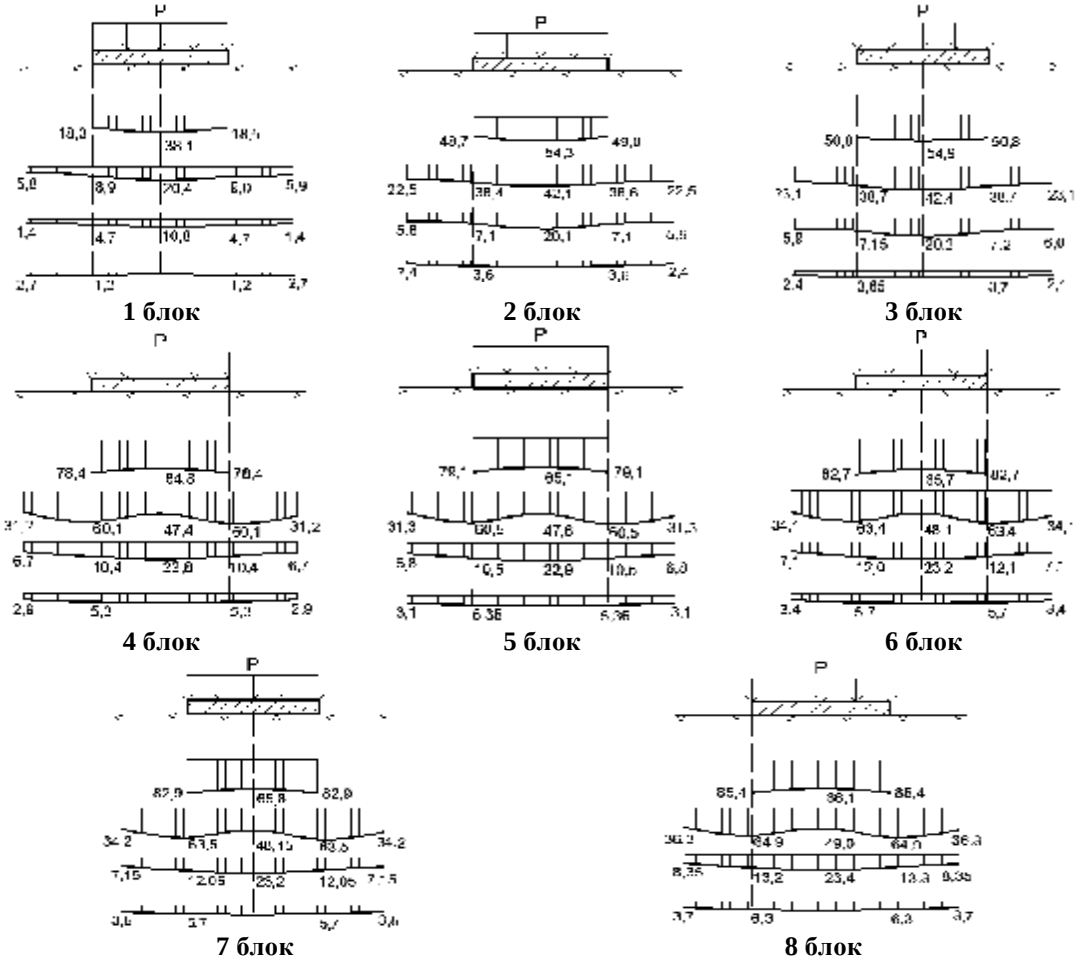



Рис. 6. Эпюры деформаций под моделью плитного фундамента при комбинированном чередующемся длительно статическом и циклическом нагружении (эксперимент № 1) (иллюстрация авторов)

Как видно из эпюр (рис. 6), происходит изменение деформаций во всех зонах грунта по мере увеличения количества циклических нагружений и продолжительности выдержки испытываемого образца при длительном статическом нагружении. При этом необходимо отметить, что наибольшее увеличение напряжений происходит под моделью плитного фундамента при действии циклических нагружений.

Рассмотрим изменения вертикальной деформации эксперимента № 2 (рис. 7, 8). Сначала к образцу ступенями прикладывалась вертикальная статическая нагрузка (блок 1) до $\sigma^{max}$=100 кПа. Каждая ступень нагружения выдерживалась в течение 15 минут согласно программе испытания, где, после статического нагружения, осадка основания составила 3,37 см. После 1 блока статического нагружения переходим к блоку 2 с циклическим нагружением, где максимальное вертикальное напряжение составляет $\sigma^{max}$=100 кПа. При действии циклических нагрузок, в пределах каждого блока,

происходило увеличение осадки основания. Деформации с различной интенсивностью развивались на всем протяжении испытаний. Наиболее интенсивное развитие деформаций происходило в блоке 2 в начальный период нагружений (до 1000 циклов). За весь 2 блок циклического нагружения было выполнено 1000 циклов, где осадка основания увеличилась на 2,12 см и общая осадка основания составила 5,49 см.

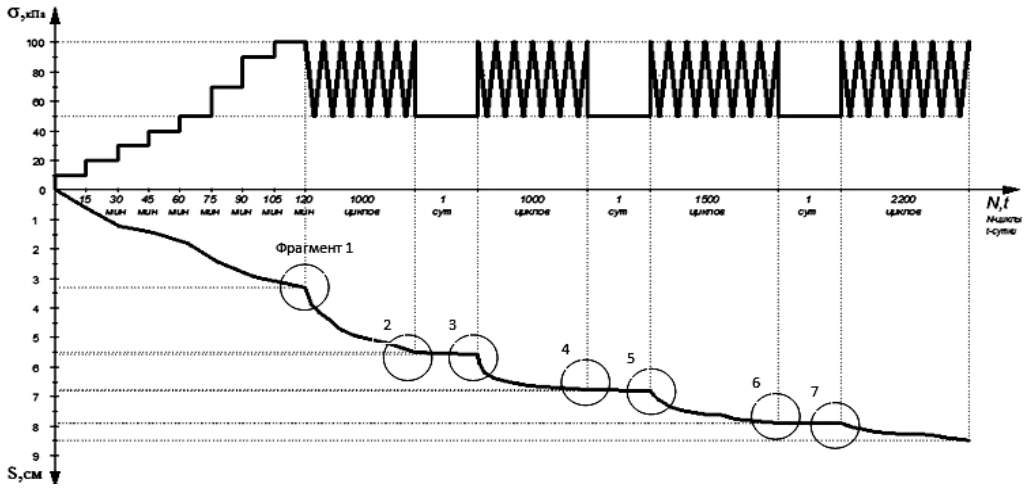



Рис. 7. График развития осадки модели плитного фундамента
при комбинированном чередующемся длительно статическом и циклическом нагружении
(эксперимент № 2) (иллюстрация авторов)

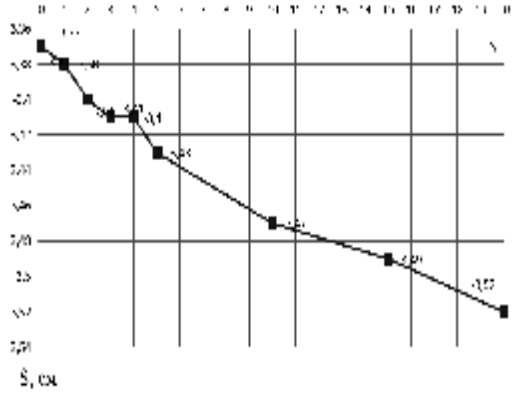
Далее при переходе от блока с циклическим нагружением (блок 2) к блоку с длительно статической нагрузкой (блок 3) в момент изменения режима нагружения $\sigma^{max}$=50 кПа значение осадки основания уменьшилось на 0,03 см и общая осадка основания составила 5,46 см, затем в течение 50 минут изменения осадки не происходили, только после 50 минут осадка увеличилась незначительно на 0,01 см и общая осадка основания составила 5,47 см. Блок 3 с длительно статическим нагружением продолжился 1 сутки, где осадка основания увеличилась на 0,10 см и общая осадка основания составила 5,59 см.

При переходе от блока длительно статического нагружения (блок 3) к циклическому нагружению (блок 4) в момент изменения режима нагружения значение осадки основания увеличилось на 0,03 см и общая осадка основания составила 5,62 см. Деформации до 5 циклов нагружения не изменяются, а затем, на 6 цикле нагружения, (рис. 7-8) осадка основания увеличилась на 0,02 см. Наиболее интенсивное развитие деформаций происходило до 500 циклов и общая осадка основания составила 6,60 см. За весь 4 блок циклического нагружения было выполнено 1000 циклов, где осадка основания увеличилась на 1,23 см и общая осадка основания составила 6,82 см.

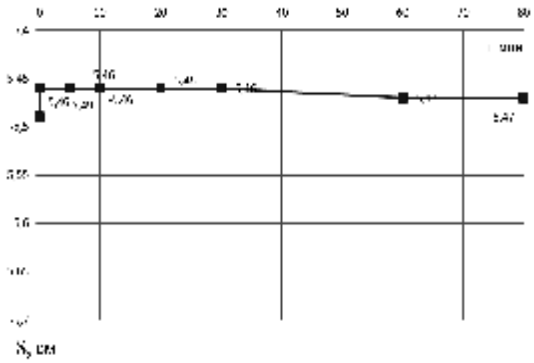
Далее при переходе от блока с циклическим нагружением (блок 4) к блоку с длительно статической нагрузкой (блок 5) в момент изменения режима нагружения $\sigma^{max}$=50 кПа значение осадки основания уменьшилось на 0,03 см и общая осадка основания составила 6,79 см, затем в течении 50 минут изменения осадки не происходили, только после 50 минут осадка увеличилась незначительно на 0,01 см и общая осадка основания составила 5,80 см. Блок 5 с длительно статическим нагружением продолжился 1 сутки, где осадка основания увеличилась на 0,06 см и общая осадка основания составила 6,88 см.

При переходе от блока длительно статического нагружения (блок 5) к циклическому нагружению (блок 6) в момент изменения режима нагружения значение осадки основания увеличилось на 0,04 см и общая осадка основания составила 6,92 см. Деформации до 6 циклов нагружения не изменяются, а затем на 10 цикле нагружения осадка основания увеличилась на 0,01 см и общая осадка основания составила 6,93 см. Наиболее интенсивное развитие деформаций происходило до 480 циклов, и общая осадка основания составила 7,67 см. За весь 6 блок циклического нагружения было выполнено

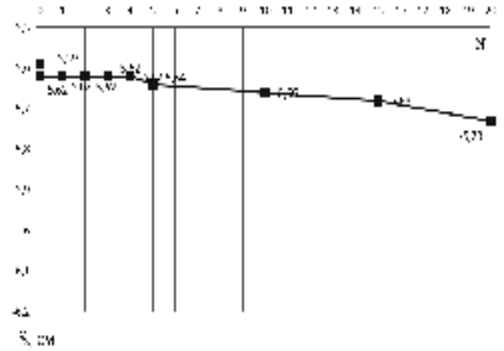
1500 циклов, где осадка основания увеличилась на 1,03 см и общая осадка основания составила 7,91 см.



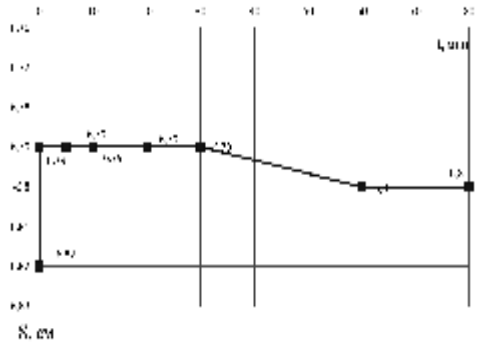
Фрагмент 1



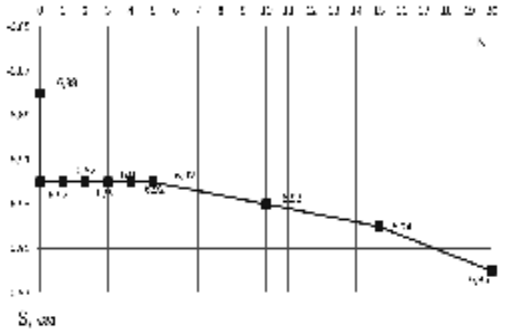
Фрагмент 2



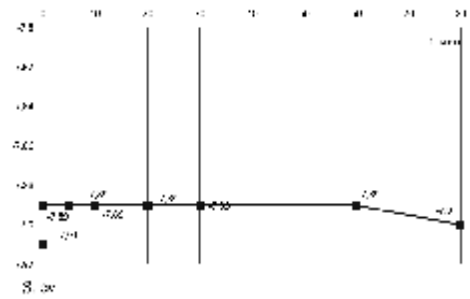
Фрагмент 3



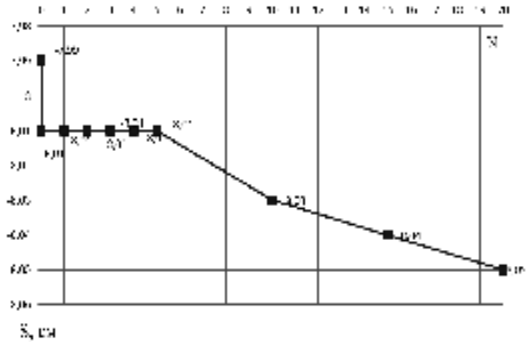
Фрагмент 4



Фрагмент 5



Фрагмент 6



Фрагмент 7

Рис. 8. Фрагменты графика развития осадки модели плитного фундамента при комбинированном чередующемся длительно статическом и циклическом нагружении (эксперимент № 1) (иллюстрация авторов)

Далее при переходе от блока с циклическим нагружением (блок 6) к блоку с длительно статической нагрузкой (блок 7) в момент изменения режима нагружения $\sigma^{max}$=50 кПа значение осадки основания уменьшилось на 0,03 см и общая осадка основания составила 7,89 см, затем в течение 70 минут изменения осадки не происходили, только после 70 минут осадка увеличилась незначительно на 0,01 см и общая осадка основания составила 7,90 см. Блок 7 с длительно статическим нагружением продолжился 1 сутки, где осадка основания увеличилась на 0,08 см и общая осадка основания составила 7,99 см.

При переходе от блока длительно статического нагружения (блок 7) к циклическому нагружению (блок 8) в момент изменения режима нагружения значение осадки основания увеличилась на 0,02 см и общая осадка основания составила 8,01 см. Деформации до 5 циклов нагружения не изменяются, а затем на 10 цикле нагружения осадка основания увеличилась на 0,02 см и общая осадка основания составила 8,03 см. За весь 6 блок циклического нагружения было выполнено 2200 циклов, где осадка основания увеличилась на 0,51 см и общая осадка основания составила 8,50 см.

**Заключение**

На основании анализа результатов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Характер развития деформаций в блоках с длительно действующей статической нагрузкой при комбинированном чередующемся длительно статическом и циклическом нагружении зависит от продолжительности действия циклической нагрузки в предыдущем блоке и продолжительности рассматриваемого блока нагружения. Таким образом, при переходе от циклического нагружения в блок с длительно статической нагрузкой в момент изменения режима нагружения, происходит незначительное уменьшение осадки на 0,01-0,02 см за счет упругой составляющей, и деформации стабилизируются. Затем, по мере увеличения времени выдержки под длительно статической нагрузкой, происходит дальнейшее нарастание деформаций на величину 0,05-0,3 см. При переходе от блока длительно статического нагружения к циклическому нагружению, в зависимости от режима нагружения, в момент изменения режима, осадка основания увеличивается на 0,01-0,03 см. Далее, в зависимости от количества приложенных циклических нагружений, осадка увеличиваются на 0,5-2,3 см. Наиболее интенсивное развитие деформаций происходит в первых блоках нагружения, т.е. при циклическом нагружении развитие наблюдалось до 1000 циклов, при длительном статическом нагружении до 3 суток.

2. При характере развития деформаций в блоках необходимо учитывать два характерных случая, когда:

- сначала действует длительное статическое нагружение $\sigma_1(t)$, а затем циклическое нагружение;
- сначала действует циклическая нагрузка $\sigma_1(N)$, а затем длительное статическое нагружение.

В первом случае общая долговечность увеличивается по сравнению с тем, когда ведется циклическое нагружение со значением напряжения $\sigma_1(N)$. Это связано с увеличением эффективной поверхности энергии разрушения грунта на первой ступени нагружения вследствие восстановления и увеличения коагуляционных связей [6-10].

Во втором случае снижение прочности при переходе на блок с длительной статической нагрузкой будет чрезвычайно медленным. Это объясняется «эффектом задержки» усталостных трещин в плоскостях предельного равновесия в расчетном объеме грунта [6-10].

## Список библиографических ссылок

1. Мирсаяпов Илизар Т., Королева И. В., Сабирзянов Д. Д. Аналитические зависимости расчета осадок основания фундаментов при режимном длительно-статическом и циклическом нагружении // Геотехника. 2016. № 6. С. 34–41.

2. Мирсаяпов Илизар Т., Королева И. В. Прочность и деформируемость глинистых грунтов при режимном пространственном напряженном состоянии с учетом трещинообразования // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 1. С. 16–23.
3. Мирсаяпов Илизар Т., Королева И. В., Сабирзянов Д. Д. Прочность и деформации глинистых грунтов при трехосном режимном чередующемся статическом и циклическом нагружении // Геотехника Беларуси: Наука и практика. 2013. С. 297–304.
4. Мирсаяпов Илизар Т., Королева И. В., Сабирзянов Д. Д. Деформации глинистых грунтов при режимном комбинированном длительном и циклическом нагружении: перспективные направления развитии теории и практики в реологии и в механике грунтов – Материалы XIV Международного симпозиума по реологии / КГАСУ. Казань, 2014. С. 130–135.
5. Мирсаяпов Илизар Т., Королева И. В., Сабирзянов Д. Д. Моделирование поведения глинистых грунтов в условиях режимного трехосного сжатия : сб. тр. XVII международной научной конференции «Формирование среды жизнедеятельности» / МГСУ. Москва, 2014. С. 402–407.
6. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Analytical dependence for calculating of foundation base settlement at the regime for a long-static and cyclic loading // ISSMGE Bulletin. London. 2016. № 5. P. 53–62.
7. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Calculation model of foundation base settlement at the static and cyclic regime loading // Energy Geotechnics. Kiel, Germany. 2016. V. 723. P. 429–434.
8. Mirsayapov Ilizar T., Sabirzyanov D. D. Bearing capacity of foundations base under combined alternating long-term static and cyclic loading // FORM2018: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 365 (2018) 042082. M. 2018. P. 1–10.
9. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Prediction of deformations of foundation beds with a consideration of long-term nonlinear soil deformation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2011. Т. 48. № 4. P. 148–157.
10. Каюмов Р. А., Шакирзянов Ф. Р., Гаврюшин С. С. Моделирование процесса деформирования и оценка несущей способности системы грунт – тонкостенная конструкция // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. № 6. 2014. С. 20–24.

**Mirsayapov Ilizar Talgatovich**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
**Sabirzyanov Danil Damirovich**
assistant
E-mail: danil198900@mail.ru
**Kazan State University of Architecture Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Experimental researches of clay soils in large trays of the regime static-cyclic loading**

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of conducting experimental research is the development of the theory of strength and deformation of clay soils under conditions of triaxial compression with combined alternating long-term static and cyclic loading.

*Results.* As a result of the research, new experimental data were obtained on the peculiarities of the stress-strain state of clay soils under conditions of triaxial compression under combined alternating long-term static and cyclic loading, as well as the development of base sediments of foundation models in laboratory conditions.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry lies in the fact that in experimental studies of determining changes in the strength and deformability of clay soils with combined alternating long-term static and cyclic loading, it is necessary to modernize engineering methods for calculating sediment and bearing capacity of foundations.

**Keywords:** triaxial compression, clay ground, static loading, cyclic loading, combined loading, bearing capacity, strength, specific cohesion, hardening.

## References

1. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Analytical dependencies of the calculation of the foundation base sediment under the regime of long-static and cyclic loading // Geotechnica. 2016. № 6. P. 34–41.
2. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Strength and deformability of clay soils under the regime of a spatial stress state with allowance for crack formation // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2016. № 1. P. 16–23.
3. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Strength and deformation of clayey soils under triaxial regime alternating static and cyclic loading // Geotekhnika Belarusi: Nauka i praktika. 2013. P. 297–304.
4. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Deformations of clay soils with regime combined long-term and cyclic loading: perspective directions of the development of theory and practice in rheology and soil mechanics – Proceedings of the XIV International Symposium on Rheology / KGASU. Kazan, 2014. P. 130–135.
5. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Modeling the behavior of clay soils under conditions of triaxial compression: collection of works of the XVII International Scientific Conference «Formation of the environment of vital activity» / MGSU. Moscow, 2014. P. 402–407.
6. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Analytical dependence for calculating of foundation base settlement at the regime for a long-static and cyclic loading // ISSMGE Bulletin. London. 2016. № 5. P. 53–62.
7. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Calculation model of foundation base settlement at the static and cyclic regime loading // Energy Geotechnics. Kiel, Germany. 2016. V.723. P. 429–434.
8. Mirsayapov Ilizar T., Sabirzyanov D. D. Bearing capacity of foundations base under combined alternating long-term static and cyclic loading // FORM2018: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 365 (2018) 042082. M. 2018. P. 1–10.
9. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Prediction of deformations of foundation beds with a consideration of long-term nonlinear soil deformation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2011. T. 48. № 4. P. 148–157.
10. Kayumov R. A., Shakirzyanov F. R., Gavryushin S. S. Modeling of the deformation process and evaluation of the load-bearing capacity of the soil system – thin-walled construction // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mechanical engineering. № 6. 2014. P. 20–24.

УДК 532,5:621,694:519.6
**Варсегова Евгения Владиславовна**
кандидат физико-математических наук, доцент
E-mail: evarsegova@yandex.ru
**Кареева Юлия Рустэмовна**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: kareeva@kgasu.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
**Золотоносов Яков Давидович**
доктор технических наук, профессор, директор
E-mail: zolotonosov@mail.ru
**ООО «Прогресс»**
Адрес организации: 420137, Россия, г. Казань, ул. Чуйкова, д. 71

# Исследование процесса теплообмена в трубах сложной геометрии аппаратов типа «труба в трубе»

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – процесс теплообмена в трубах сложной геометрии аппаратов типа «труба в трубе». Трубы представляют собой последовательность чередующихся конфузорных, прямых и диффузорных участков различной длины. Применение таких элементов требует проведения широких экспериментальных исследований. В связи с этим требуются порой значительные материальные затраты. Для сокращения расходов авторами проводятся численные исследования.

*Результаты*. Основные результаты исследования: записаны стационарные уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу в цилиндрической системе координат с симметрией по углу с учетом зависимости динамической вязкости от температуры с краевыми условиями, отражающими геометрию проточной части канала. Численная реализация позволила построить зависимости критерия Нуссельта от числа Рейнольдса, получить критериальные уравнения для трех видов труб. Произведено сравнение эффективности труб круглого сечения с трубами сложной геометрии, показано, что предложенные теплообменные элементы эффективнее.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что авторами предложена целая серия инновационного теплообменного оборудования.

**Ключевые слова:** численный метод, теплообмен, гидродинамика, труба в трубе, теплообменный элемент «конфузор-диффузор».

## Введение

В настоящее время в России на долю промышленного теплопотребления приходится более 50 % от всего количества произведенных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). К числу наиболее крупных потребителей ТЭР относятся предприятия и производственные комплексы энергетики, металлургической, нефтехимической, пищевой промышленности, а также ЖКХ (системы отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования воздуха), где основную массу теплообменного оборудования составляют водоводяные змеековые емкостные и кожухотрубчатые пароводяные теплообменники, проработавшие в системе ЖКХ более 20 лет [1-2].

Доля же теплообменного оборудования в структуре ведущих отраслей промышленности составляют порядка 70 %, где, в большинстве случаев, используются теплообменные аппараты с гладкотрубными теплообменными элементами, имеющими высокий уровень физического износа (до 60…70 %), вследствие длительного срока их эксплуатации (50…60 лет).

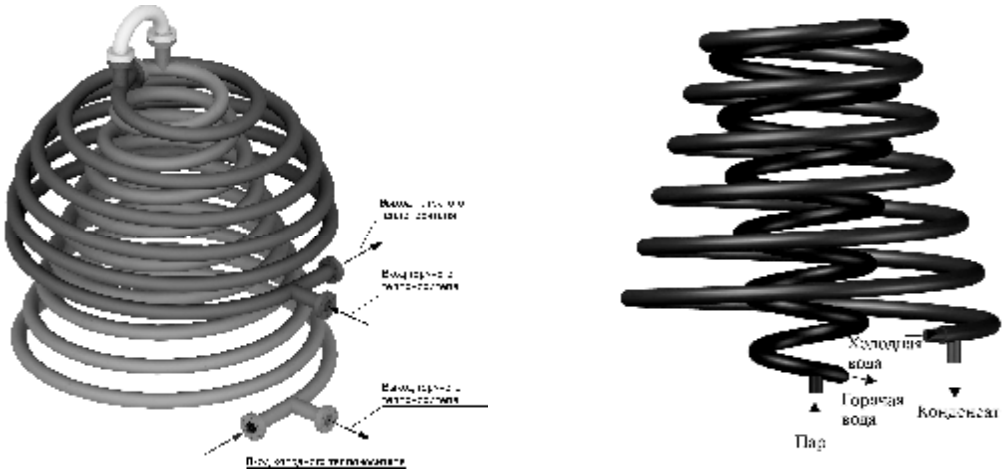
Эта проблема наблюдается в целом ряде важных секторов промышленности, в том числе: пищевой, медицинской, химической, нефтехимической, а также в тепловых сетях

и источниках электроснабжения, среди которых ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС и крупные районные котельные.

В связи с этим, остро встают вопросы, связанные с совершенствованием теплообменного оборудования, его реконструкцией и модернизацией, что порой является практически единственным способом повышения экономичности современных энергоустановок.

Существенной экономии материальных и энергетических ресурсов на промышленных предприятиях можно добиться путем разработки и применения энергосберегающих теплотехнических схем, интенсификации технологических процессов и повышения эффективности и единичной мощности теплообменного оборудования [3-8].

Для этих целей в настоящее время авторами предложена целая серия инновационного теплообменного оборудования одним из представителей которой является модульный змеевиковый теплообменник типа «труба в трубе» рис. 1а, выполненный из отдельных аппаратов, образуя пространственный модуль, внешний контур которого имеет «грибовидную» конфигурацию и включает внутренний теплообменник, на котором смонтирован внешний полусферический теплообменный аппарат [9].




а) б)

Рис. 1. а) теплообменник типа «труба в трубе» «грибовидной» конфигурации [9];
б) змеевиковый теплообменник типа «труба в трубе», выполненный по винтовой спирали (иллюстрация авторов)

Практический интерес представляет и змеевиковый теплообменник типа «труба в трубе», выполненный по винтовой спирали (рис. 1б), состоящий из двух усеченных конусов, установленных коаксиально один внутри другого, при этом меньшее и большее основания конусов обращены друг к другу.

Однако широкое внедрение аппаратов в инженерную практику сдерживается отсутствием фундаментальных исследований, касающихся процессов гидродинамики и теплообмена в предлагаемых теплообменных элементах, а также надежных инженерных методов расчета аппаратов типа «труба в трубе» с инновационными теплообменными элементами.

**Построение математической модели течения вязкой жидкости в канале**

Рассмотрим влияние геометрии внутреннего теплообменного элемента на процесс теплообмена в аппарате типа «труба в трубе».

На рис. 2 представлены геометрии рассматриваемых осесимметричных каналов. Каналы представляют собой последовательность чередующихся конфузорных, постоянных и диффузорных участков различной длины, что приводит к более интенсивному теплообмену за счет искусственной турбулизации пограничного слоя. Применение таких элементов требует проведения дополнительных исследований. Для сокращения расходов на экспериментальные исследования в настоящее время проводятся численные расчеты.

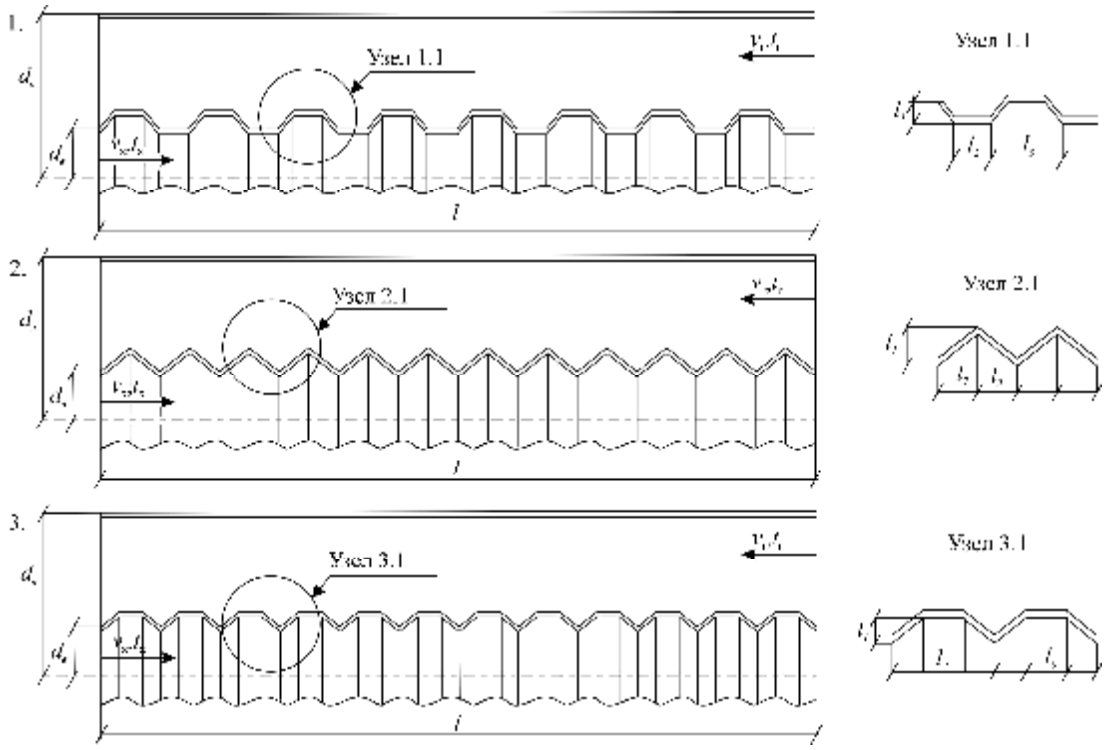



Рис. 2. Геометрия расчетной области (иллюстрация авторов)

В теплообменнике нагреваемая жидкость (вода) движется по внутренней алюминиевой трубе ($\lambda_т$ = 202,4 Вт/(м·К)) и имеет температуру на входе $t_х$ = 5 $^oC$. Вода нагревается за счет горячей воды межтрубном пространстве с температурой на входе $t_г$ = 95 $^oC$. Скорость горячего теплоносителя остается постоянной и равна $v_г$ = 0,7 м/с, тогда как скорость холодной воды будет меняться от $v_х$ = 0,5-1,5 м/с. Длина одной секции $l$ = 1 м. Рассматривается противоточное течение теплоносителей. Исходные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Исходные данные для расчета**

| № схемы | $d_в/d_н$ (мм) | $v_{х1}$ | $v_{х2}$ | $v_{х3}$ | $v_{х4}$ | $v_{х5}$ | $v_{х6}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8,0/38,0 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 |
| 2 | 15,0/38,0 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 3 | 8,0/38,0 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 |

Турбулентное течение воды в теплообменнике описывается уравнениями Навье-Стокса осредненными по Рейнольдсу в цилиндрической системе координат с симметрией по углу [10]:

- уравнение неразрывности:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial r v_r}{\partial r}+\frac{\partial v_z}{\partial z}=0, \tag{1}$$

- уравнения движения:

$$\rho\left(v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}+v_z\frac{\partial v_r}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left((\mu+\mu_т)r\frac{\partial v_r}{\partial r}\right)+$$
$$+\frac{\partial}{\partial z}\left((\mu+\mu_т)\frac{\partial v_r}{\partial z}\right)-(\mu+\mu_т)\frac{v_r}{r^2}+\frac{1}{3}\frac{\partial}{\partial r}\left((\mu+\mu_т)\left(\frac{\partial v_r}{\partial r}+\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)\right); \tag{2.1}$$

$$\rho\left(v_r\frac{\partial v_z}{\partial r}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r(\mu+\mu_t)\frac{\partial v_z}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left((\mu+\mu_t)\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)+$$
$$+\frac{1}{3}\frac{\partial}{\partial r}(\mu+\mu_t)\left(\frac{\partial v_r}{\partial r}+\frac{\partial v_z}{\partial z}\right), \qquad (2.2)$$

где $v_r$, $v_z$ – радиальная и осевая проекции скорости, соответственно, м/с;
$p$ – осредненное гидродинамическое давление, Па;
$\rho$ = 1000 кг/м$^3$ – плотность воды;
$\mu(T)=6\cdot10^{-11}T^4-10^{-8}T^3+10^{-6}T^2-6\cdot10^{-5}T+0{,}0018$ – динамический коэффициент вязкости воды, Н·с/м$^2$; $T$ – температура, К.

Система (1)-(2) дополняется уравнением энергии:

$$\rho\left(v_r\frac{\partial T}{\partial r}+v_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r(a+a_T)\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left((a+a_T)\frac{\partial T}{\partial z}\right), \qquad (3)$$

где $a$ – коэффициент температуропроводности воды, м$^2$/с; $a_T$ – коэффициент турбулентной температуропроводности, м$^2$/с. Так как температура горячего и холодного теплоносителей медленно изменяется по времени, то задача решается в стационарной постановке.

Система уравнений Рейнольдса (1-3) является незамкнутой. Для замыкания используется модель турбулентности $k-\varepsilon$ [10]:

$$\rho\left(v_r\frac{\partial k}{\partial r}+v_z\frac{\partial k}{\partial z}\right)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial r}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial z}\right]-\rho\varepsilon+G_k,$$
$$\rho\left(v_r\frac{\partial \varepsilon}{\partial r}+v_z\frac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial r}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right]+c_{\varepsilon1}\frac{\varepsilon}{k}G_k-c_{\varepsilon2}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}, \qquad (4)$$

где $\mu_t=\rho C_\mu\frac{k^2}{\varepsilon}$ – турбулентная вязкость; $G_k=\rho\tau_{ij}\frac{\partial v_i}{\partial x_j}$, $i,j=r,z$ – генеративный член;

$\tau_{ij}$ – тензор напряжений Рейнольдса; модульные константы: $c_{\varepsilon1}$ = 1,44; $c_{\varepsilon1}$ = 1,9; $\sigma_k$ = 1,0; $\sigma_\varepsilon$ = 1,2; $C_\mu$ = 0,09.

Граничные условия:

– параметры на входе имеют постоянное значение скорости и температуры:

$$0<r<d_в,\ z=0:\ \bar{v}_r=0;\ \bar{v}_z=const;\ \bar{T}=278;$$
$$d_в<r<d_н,\ z=1:\ \bar{v}_r=0;\ \bar{v}_z=0{,}7;\ \bar{T}=368;$$

– на выходе задаются постоянные избыточные давления:

$$0<r<d_в,\ z=1:\ \Delta\bar{p}=0;$$
$$d_в<r<d_н,\ z=0:\ \Delta\bar{p}=0;$$

– на твердых границах поверхности – условия прилипания: $\bar{v}_r=\bar{v}_z=0$;

– на оси симметрии: $r=0;\ 0\le z\le l:\ \ \bar{v}_r=0;\ \partial\bar{v}_r/\partial z=0;\ \partial\bar{v}_z/\partial r=0$.

Задача решается численно с использованием лицензированного пакета программ ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2.

**Обработка результатов расчета**

Целью исследования является получение критериального уравнения в виде [6]:

$$Nu=a\mathrm{Re}^m\mathrm{Pr}_ж^{0,43}(\mathrm{Pr}_ж/\mathrm{Pr}_{ст})^{0,25}, \qquad (5)$$

в котором $Nu=\alpha d_г/\lambda$ – критерий Нуссельта; $\mathrm{Re}=\nu d_г\rho/\mu(T=T_ж)$ – критерий Рейнольдса; Pr – критерий Прандтля; $a$ и $m$ – неизвестные константы, подлежащие определению, $T_ж$ – средняя температура холодной воды.

Поправка $(\mathrm{Pr}_ж/\mathrm{Pr}_{ст})^{0,25}$, предложенная академиком М.А. Михеевым, учитывает направление движения теплового потока, причем $\mathrm{Pr}_c$ относится к воде при температуре стенки. Значения критериев определяются из справочника по средней температуре воды и стенки. В качестве характерного размера используется гидравлический диаметр, который определяется по формуле $d_г=4V/S$, где $V$ – объем, м$^3$; $S$ – площадь боковой поверхности, м$^2$.

Коэффициент теплоотдачи $\alpha$ определяется из закона Ньютона-Рихмана:

$$\alpha=\frac{Q_к}{(T_c-T_ж)F},\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)},$$

где $Q_k$ – тепловой поток, Вт; $T_c$ – средняя температура стенки, со стороны холодной воды соответственно; $F$ – площадь внутренней поверхности трубы, м$^2$.
Все величины получены численно.

Зависимость $Nu = f(\mathrm{Re})$ аппроксимировалась степенной функцией. Показание степени – это неизвестная константа $m$. Согласно методике, предложенной Щукиным:

$$aPr_{ж}^{0,43}(Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}=const,$$

которая найдена из аппроксимации степенной функцией.

Согласно расчету уравнения подобия будут иметь вид:

$$Nu = 0{,}0617Re^{0,9142}Pr_{ж}^{0,43}(Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}, \quad (6)$$

$$Nu = 0{,}0559Re^{0,8391}Pr_{ж}^{0,43}(Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}, \quad (7)$$

$$Nu = 0{,}0269Re^{0,8857}Pr_{ж}^{0,43}(Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}. \quad (8)$$

По рассчитанным критериям $Nu$ и Re был построен график (рис. 3). На графике точками показаны значения, полученные численным расчетом, сплошной линией – теоретическая зависимость, посчитанная по найденным критериальным уравнениям (6-8) для геометрий 1-3 (рис. 2) соответственно. Для сравнения эффективности геометрии внутреннего канала на рисунке приведены результаты, полученные по критериальному уравнению (9) для круглой трубы:

$$Nu = 0{,}021Re^{0,8}Pr_{ж}^{0,43}(Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}. \quad (9)$$

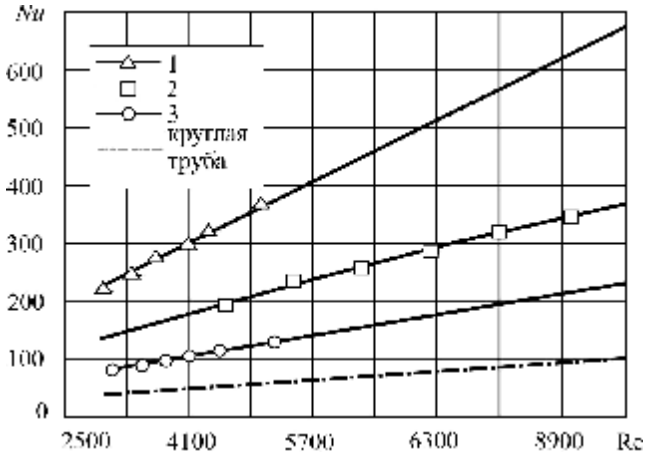



Рис. 3. График зависимости критерия Нуссельта от числа Рейнольдса (иллюстрация авторов)

Из графика рис. 3 видно, что рассматриваемые геометрии труб с наличием конфузорно-диффузорных участков эффективнее более чем на 50 %, чем теплообменники, имеющие круглую прямую трубу.

**Выводы**

В работе построена математическая модель течения в канале с учетом граничных условий, построены графики зависимости критерия Нуссельта от числа Рейнольдса, получены критериальные уравнения для трех видов труб сложной геометрии аппаратов типа «труба в трубе». Произведено сравнение с трубами круглого сечения, которое показало что выбранные теплообменные аппараты эффективнее. Таким образом, можно сделать вывод, что причинами интенсификации теплообмена в данном случае является изменение сечение канала, что приводит к изменению скорости, а также искусственной турбулизации пограничного слоя.

**Список библиографических ссылок**

1. Багоутдинова А. Г., Золотоносов Я. Д., Посохин В. Н. Конструкции эффективных теплообменных элементов для скоростных теплообменников // СОК. 2014. № 7. С. 11–13.

2. Самигуллин Р. Р., Самигуллина А. Р., Низамов И. И., Ахмерова Г. М. Внедрение ИТП для энергоэффективности и энергосбережения в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 44-6. С. 55–56.
3. Gavade Pravin P., Prof. Kulkami P. R. Experimental Evaluation of Helical Coil Tube in Tube Heat Exchanger // International Journal of Emerging Engineering Research and Technology. 2015. V. 3. № 2. P. 12–17.
4. Pramod Desmukh, Vikram D. Patil, Prof. Baviskar Devakant. CFD Analysis of heat transfer in helical coil tube heat exchanger // International journal of innovation in engineering research and technology (IJIERT). 2016. V. 3. № 1. P. 1–8.
5. Trioki N. M. Modelling and CFD Analysis of Tube in Tube Helical Coil in Heat Exchanger // International Journal of Science and Research (IJSR). 2015. V. 4. № 8. P. 1536–1541.
6. Xue L. Study on laminar flow in helical circular pipes with Galerkin method // Computer and Fluids. 2002. V. 31. I. 1. P. 113–129.
7. Мигай В. К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. Л. : Энергоатомиздат, 1987. 260 с.
8. Мигай В. К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л. : Энергия, 1980. 144 с.
9. Модульный змеевиковый теплообменник : пат. РФ №187878 на полезную модель МПК F28D 7/02, 7/10 №2018137892 ; заявл. 26.10.18 ; опубл. 21.03.2019, Бюл. № 9.
10. ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2, Help System, Coupled Field Analysis Guide, ANSYS, Inc.

**Varsegova Evgeniya Vladislavovna**
candidate of physic-mathematical sciences, associate professor
E-mail: evarsegova@yandex.ru
**Kareeva Yuliya Rustemovna**
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: kareeva@kgasu.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization adress: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Zolotonosov Yakov Davydovich**
doctor of technical sciences, professor, director
E-mail: zolotonosov@mail.ru
**LLC «Progress»**
The organization address: 420137, Russia, Kazan, Chuikova st., 71

## Research of heat exchange process in pipes with difficult geometry of «pipe in pipe» apparatus type

**Abstract**

*Problem statement.* The goal of research is to analyze heat exchange process in pipes with difficult geometry of «pipe in pipe» apparatus type. Pipes represent sequence of alternating sections of confuser, straight and diffuser of different length. Application of such elements requires wide experimental research. The research sometimes requires significant financial expenses. the authors carried out numerical studies for cost reduction.

*Results.* Main results of the research: the stationary Reynolds average Navier-Stocks equations in a cylindrical coordinate system with the angularly symmetry were recorded, taking into account the dependence of dynamic viscosity on temperature with boundary conditions reflecting the geometry of the flow path of the channel. Numerical implementation made it possible to formulate the dependences of the Nusselt criterion on the Reynolds number, to obtain criterial equations for three types of pipes. Comparison of the efficiency of round pipes with pipes of complex geometry is made. It has shown that the proposed heat exchange elements are more efficient.

*Conclusion.* The significance of the received results for construction industry is that authors suggest a full set of innovative heat exchange equipment.

**Keywords:** numerical method, heat exchange, hydrodynamics, tube in tube, heat exchange element «confuser-diffuser».

## References

1. Bagoutdinova A. G., Zolotonosov Ya. D., Posokhin V. N. Construction of efficiency heat exchange elements of velocity heat exchanger // SOK. 2014. № 7. P. 11–13.
2. Samigullin R. R., Samigullina A. R., Nizamov I. I., Akhmerova G. M. Implementation of individual heat point for energy efficiency and energy saving in a housing and communal services field // Tendencii razvitiya nauki I obrazovaniya. 2018. № 44-6. P. 55–56.
3. Gavade Pravin P., Prof. Kulkami P. R. Experimental Evaluation of Helical Coil Tube in Tube Heat Exchanger // International Journal of Emerging Engineering Research and Technology. 2015. V. 3. № 2. P. 12–17.
4. Pramod Desmukh, Vikram D. Patil, Prof. Baviskar Devakant. CFD Analysis of heat transfer in helical coil tube heat exchanger // International journal of innovation in engineering research and technology (IJIERT). 2016. V. 3. № 1. P. 1–8.
5. Trioki N. M. Modelling and CFD Analysis of Tube in Tube Helical Coil in Heat Exchanger // International Journal of Science and Research (IJSR). 2015. V. 4. № 8. P. 1536–1541.
6. Xue L. Study on laminar flow in helical circular pipes with Galerkin method // Computer and Fluids. 2002. V. 31. I. 1. P. 113–129.
7. Migay V. K. Simulation of heat exchange energy equipment. L. : Energoatomizdat, 1987. 260 p.
8. Migay V. K. Improving the efficiency of modern heat exchangers. L. : Energiya, 1980. 144 p.
9. Modular coil heat exchanger : patent of the Russian Federation. № 187878 for utility model MPK F28D 7/02, 7/10 № 2018137892 ; decl. 26.10.18 ; publ. 21.03.2019, Bull. № 9.
10. ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2, Help System, Coupled Field Analysis Guide, ANSYS, Inc.

УДК 628.87
**Петров Артем Сергеевич**
кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: ruarty@mail.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
**Забирова Айгуль Ильдаровна**
архитектор
E-mail: zabirova21@mail.ru
**ООО «ПИК-Проект»**
Адрес организации: 123022, Россия, г. Москва, ул. Красная Пресня, д. 24, к. 60

# К вопросу обеспеченности уровня теплового комфорта в жилых квартирах с учетом индексов PMV и PPD

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – произвести натурное исследование параметров микроклимата в помещениях нескольких жилых квартир г. Казани. По полученным данным произвести оценку теплового комфорта в помещениях квартир, используя индексы PMV и PPD, согласно международному стандарту ISO 7730.

*Результаты.* Выявлено несоответствие уровня теплового комфорта для исследованных квартир по требованиям международного стандарта. Определено наличие и местоположение зон теплового комфорта и дискомфорта в квартирах с указанием субъективной оценки жильцами по расчетному индексу PMV и PPD. Показана стихийность складываемых условий микроклимата в жилых квартирах.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении факта, что необходимый уровень теплового комфорта в помещениях не обеспечивается для всех жильцов единовременно. Данный факт вызван различным уровнем метаболизма у каждого человека, который лежит в основе процессов теплообмена. Полученные знания позволяют сформулировать подход к повышению качества теплового комфорта на этапе проектирования, который состоит в повышении вариативности параметров микроклимата в пределах одной квартиры.

**Ключевые слова:** микроклимат, эквивалентно-эффективная температура, санитарно-гигиенические требования, индекс теплового комфорта, жилые помещения.

## Введение

Комфортный микроклимат обуславливает физическое и психическое здоровье человека, его трудовую активность. Микроклимат рассматривают с технической точки зрения и по теплоощущениям человека. В первом случае требования к микроклимату установлены исходя из необходимости создания благоприятных санитарно-гигиенических условий, согласно федеральному закону № 84 (статья 29). Требуемые величины указанных параметров микроклимата изложены в ГОСТ 30494-2011, СанПиН 2.1.2.2645. Теплоощущения человека при этом зависит от сочетания параметров микроклимата помещения, и оцениваются человеком в зависимости от его возраста, пола, физической или умственной активности и др. Субъективные тепловые ощущения человека могут быть успешно определены расчетным методом через статистический параметр – индекс теплового комфорта. Данным методикам расчета посвящено множество работ, в частности ряд исследований [1-4] показывает успешное применение средств математического моделирования с целью анализа распределения параметров микроклимата и индекса PMV по всему объему помещения. Существуют попытки определения параметров микроклимата с заранее заданным уровнем комфорта [5], баланса между источником тепла, человеком и ограждающими конструкциями для зимнего и летнего периодов [6]. Аналитическое определение теплового комфорта закреплено в международных нормативных документах (ISO 7730, ISO 13732-2, ISO 7726), однако на текущий момент на этапе проектирования жилых зданий подобные

расчеты не выполняются, а учитываемые параметры микроклимата часто не связаны между собой. Так, не связаны между собой расчеты санитарно-гигиенических требований теплозащиты, отопления, инсоляции, воздухообмена, в то время как именно их сочетание определит итоговый режим микроклимата помещения [7]. В данных обстоятельствах итоговый микроклимат помещений складывается случайным образом, который можно оценить по указанным методикам лишь после сдачи здания в эксплуатацию.

**Методология исследования теплового комфорта помещений**

Оценка субъективных ощущений по экспериментальным данным может быть проведена путем расчета различных биометеорологических индексов. ЭЭТ (эквивалентная эффективная температура), введенная Б.А. Айзенштадтом [8], позволяет оценить теплоощущения человека с учетом движения воздуха:

$$ЭЭТ = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014f + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}} - 0,29t(1 - \frac{f}{100}), \quad (1)$$

где $t$ – температура воздуха, °С; $f$ – относительная влажность воздуха, %; $v$ – средняя скорость ветра.

Теплоощущения с учетом радиационной температуры РЭЭТ, согласно Е.Г. Головиной [9]:

$$РЭЭТ = 12\lg[1 + 0,025t + 0,001(t - 8)(f - 60) - 0,45(33 - t)\sqrt{v} + 185b], \quad (2)$$

где $t$ – температура воздуха, °С; $f$ – относительная влажность воздуха, %; $v$ – скорость ветра, м/с; $b$ – поглощенная поверхностью тела солнечная радиация, кВт/м$^2$.

Существует и множество других подобных методов [10], однако все они базируются на объективизации результатов с помощью статистики ответов на вопрос о самочувствии. То есть, данные методы не основаны на реальных физических процессах теплового баланса, а являются эмпирическими построениями. По этой причине данные подходы не получили своего дальнейшего развития и в текущем исследовании не рассматриваются.

Отличием от указанных методов является подход П.О. Фангера, который предложил использовать ясные принципы термодинамики, лежащие в основе работы механизмов терморегуляции организма [11, 12]. Согласно методу, показатель комфорта PMV пропорционален разности между тепловыделением (метаболизм) – $M$ и теплопотерями – $W$, а именно PMV = $A \cdot (M - W)$. То есть уровень комфорта PMV определяется путем решения уравнения теплового баланса между телом человека и окружающей средой. При этом если $M > W$, то происходит перегрев организма с ощущением «тепла», «жары» и т.п. В противном случае происходит охлаждение организма с ощущением «прохлады», «холода». Данный метод в настоящее время положен в основу международного стандарта ISO 7730 и решается по выражению:

$$\begin{aligned} PMV = {} & [0,303\exp(-0,036M) + 0,028] \times \{(M - W) - 3,05 \times 10^{-3}[5733 - \\ & - 6,99 \times (M - W) - p_a] - 0,42 \times [(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} \times M(5867 - \\ & - p_a) - 0,0014 \times M(34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} f_{c1} \times [(t_{c1} + 273)^4 - (\overline{t_r} + 273)^4] - f_{c1} h_c (t_{c1} - t_a), \end{aligned} \quad (3)$$

где $M$ – скорость обмена веществ, Вт/м$^2$; $W$ – теплообмен в результате внешней механической работы, Вт/м$^2$; $I_{c1}$ – коэффициент теплоизоляции одежды, м$^2$·К/Вт; $f_{c1}$ – коэффициент площади поверхности одежды; $t_a$ – температура воздуха, °С; $\overline{t_r}$ – средняя температура излучения, °С; $v_{ar}$ – скорость движения воздуха, м/с; $p_a$ – парциальное давление водяного пара, Па; $h_c$ – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м$^2$ ·К); $t_{c1}$ – температура поверхности одежды, °С. При этом значения изоляционных характеристик одежды $I_{c1}$ можно получить согласно ISO 9920 (Оценка теплоизоляционных свойств и стойкости к испарению комплектов одежды).

Результаты расчета PMV в баллах интерпретируется соответствующим ощущением микроклимата, табл. 1. При этом допустимые значения баллов для здоровых людей находятся в интервале от −0,5 до +0,5, для людей с заболеваниями и пожилого возраста от 0 до +0,5. Скорость обмена веществ $M$ в выражении (3) имеет существенное значение для результата расчета и является при этом наименее предсказуемым, так как зависит от индивидуальных особенностей организма каждого человека. В связи с этим последние

исследования в этой области вносят некоторую критику этого метода, называя его «чересчур прямолинейным» [13]. Критика состоит в том, что сильное напряжение систем терморегуляции может поддерживать тепловой баланс (PMV=0), однако это состояние будет восприниматься негативно как дискомфортное.

Таблица 1

**Шкала субъективных ощущений теплового баланса**

| Оценка в баллах | Ощущения человека | Соответствие требованиям | |
|---|---|---|---|
| | | Для подростков и среднего возраста | Для пожилого возраста |
| +3 | Жарко | Недопустимо | Недопустимо |
| +2 | Тепло | | |
| +1 | Немного тепло | | |
| +0,5 | Нейтрально | Допустимо | Допустимо |
| 0 | | | |
| −0,5 | | | |
| −1 | Немного прохладно | Недопустимо | Недопустимо |
| −2 | Прохладно | | |
| −3 | Холодно | | |

Более того, согласно медицинским исследованиям у здоровых пожилых людей заметно снижается уровень общего метаболизма, снижается чувствительность к температуре и замедляется терморегуляция. Поэтому даже при субъективном комфорте у пожилых людей могут наблюдаться частые случаи гипотермии. Данные явления не учитываются в расчете индекса PMV, а статистический опрос людей о самочувствии, требуемый для разработки бальной системы, происходил только среди совершеннолетних людей, не включая пожилой и детский возраст. В связи с этим фактом был введен дополнительный нормативный документ ГОСТ Р 53453 уточняющий величину $M$ и границы комфорта к людям с особыми требованиями. Так, например, рекомендуется учитывать факт сниженной физической активности инвалидов и пожилых людей, используя при расчетах более низкий уровень теплопродукции ($M$ в интервале 58-69 Вт/м$^2$ против интервала 58-120 Вт/м$^2$ у подростков и среднего возраста). Комплексные исследования проводимые в этой области всемирной организацией здравоохранения и ряда исследователей [14] позволяют говорить о среднестатистических закономерностях изменения метаболизма от вида деятельности, массы тела, роста, пола и возраста человека. По рис. 1 можно видеть, что метаболизм увеличивается до наступления возраста 17-18 лет, после чего планомерно снижается.

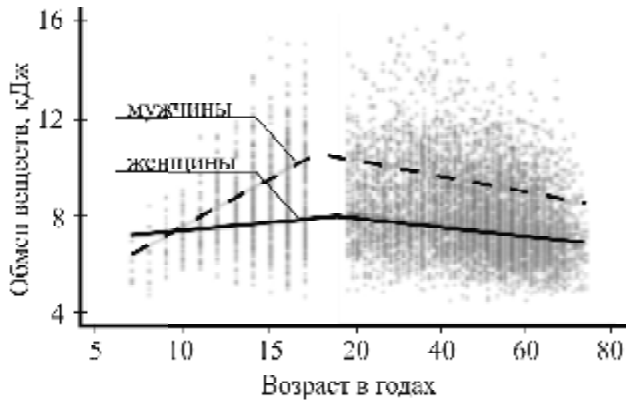



Рис. 1. Зависимость скорости обмена веществ от пола и возраста человека как фактор, влияющий на индекс PMV помещений жилых зданий [14]

Так, в среднем, уровень обмена веществ пожилого мужчины 80-ти лет на 15-18 % ниже, чем у подростка 17-и лет. У женщин изменения метаболизма менее выражены, при

этом общий уровень метаболизма ниже, чем у мужчин. Независимо от указанных неясностей, подход П.О. Фангера на текущий момент является наиболее обоснованным и перспективным. Таким образом методика ISO 7730 и рекомендации ГОСТ Р 53453 об учете изменения метаболизма от возраста человека и его активности были взяты за основу при исследовании теплового комфорта нескольких жилых квартир г. Казани.

**Натурное исследование параметров микроклимата жилых квартир**

С целью оценки фактического теплового комфорта в помещениях, был проведен анализ микроклимата трех жилых квартир по улице Лукина и улице Гаврилова г. Казани. При этом в исследовании были сформулированы следующие задачи:

- экспериментальное измерение характеристик микроклимата в помещениях эксплуатируемых жилых квартир;
- оценка субъективных ощущений комфорта по индексу PMV и PPD;
- выявление зон комфорта и дискомфорта в квартире в зависимости от вида деятельности и возраста человека;
- оценка соответствия теплового комфорта нормативным требованиям.

В работе исследовались квартиры с высотой этажа 2,8 м в панельных зданиях со схожей планировочной системой (рис. 2). На рисунке можно видеть расчетные точки, в которых были экспериментально получены микроклиматические параметры, такие как температура и влажность воздуха, температура окружающих поверхностей. Измерения проводились в характерный день холодного периода года в середине дня 10 февраля с использованием термогигрометра и пирометра. Местоположение расчётных точек выбиралось исходя из реальных видов деятельности жильцов и длительности пребывания в них.

Рис. 2. Планировочные схемы исследуемых квартир с указанием расчетных точек для измерения параметров микроклимата (иллюстрация авторов)

По выражению (3) были определены значения PMV для каждой расчетной точки исследуемых квартир. Ниже приводятся исходные данные расчета на примере одной расчетной точки в зоне гостиной для сидячей работы людей среднего возраста, табл. 2. Метод расчета, согласно ISO 7730, основан на методе математических итераций и в текущем исследовании выполнялся в программном комплексе Microsoft Excel. По результатам расчета индексов PMV и PPD каждой расчетной точки получены планировочные схемы квартир с указанием комфортных и дискомфортных зон (табл. 3). Закрашенные участки соответствуют недопустимым уровням комфорта (зоны дискомфорта), а участки, которые не закрашены – нейтральным тепловым ощущениям. Можно видеть, что в исследуемых квартирах наиболее комфортно себя ощущают подростки, так как при их уровне активности величина метаболизма несколько выше остальных возрастных групп.

Таблица 2

**Исходные параметры для расчёта PMV и PPD на примере одной расчетной точки**

| | |
|---|---|
| Темп. воздуха, $t_a$ ºС | 22,0 |
| Средняя температура излучения, $\overline{t_r}$ ºС | 22,1 |
| Скорость движения воздуха, $v_{ar}$ м/с | 0,1 |
| Влажность воздуха, $\varphi$ % | 19,1 |
| Вид работы | сидя, расслабленно |
| Скорость обмена веществ, *M* мет | 1 |
| Мебель | кресло |
| Набор одежды | нижнее белье, носки, брюки длинные домашние, теплая рубашка с длинным рукавом |
| Изоляция одежды, $I_{cl}$ кло | 0,74 |
| Изоляция с учетом мебели, кло | 0,89 |
| Примечание: метаболическая единица = 1 мет = 58 Вт/м$^2$; 1 кло = 0,155 м °С/Вт. | |

Таблица 3

**Зоны комфорта и дискомфорта в исследуемых квартирах согласно индексам PMV**

По количеству зон дискомфорта первая квартира наиболее комфортна для подростков, вторая квартира – для среднего возраста. Для пожилого возраста количество зон дискомфорта оказалось больше количества зон комфорта, при этом присутствуют

холодные зоны. По качеству микроклимата, вне зависимости от возраста человека, во всех квартирах присутствуют зоны с недопустимыми уровнями теплового комфорта. Стоит отметить, что данные результаты получены лишь для одного характерного дня холодного периода года, то есть не могут расцениваться как неизменные. Однако, очевидно, что полученные результаты демонстрируют стихийность складываемых условий микроклимата, как в пределах одной квартиры, так и различия микроклимата между квартирами со схожими планировочными и конструктивными системами.

**Пути решения проблем теплового комфорта в жилых помещениях**

Частично проблема дискомфорта нивелируется личным выбором домашней одежды жильцов. Однако, с целью достижения комфорта в «холодных» зонах, потребуется комплект одежды с теплозащитными характеристиками уличной одежды, где $I_{cl} > 1{,}35$ кло, что не может быть оптимальным решением. Одним из путей решения проблемы может быть внедрение системы контроля микроклимата самими жильцами, эффективность такого подхода показана рядом авторов в экспериментальном исследовании [15]. Однако на текущий момент данный подход в отечественной практике не развит. Из архитектурных инструментов решения проблемы стоит выделить следующие:

1. Архитектурно-планировочное решение здания, к которому можно отнести объем, ориентацию помещений по сторонам света (с целью прогрева солнечным облучением или солнцезащиты [16]) и др.;
2. Проектирование теплозащитной оболочки здания по условиям теплового комфорта;
3. Выбор системы отопления (например, теплыми полами можно регулировать тепловой режим отдельных зон);
4. Выбор мебели с различными значениями их теплоизоляции (например, для пожилых людей следует использовать мягкую и кожаную мебель в интерьере помещения с высоким значением теплоизоляции);
5. Выбор осветительных приборов соответствующей мощности (дополнительный нагрев воздуха от источников излучения).

**Заключение**

Проведенное исследование позволило установить, что на момент испытания микроклимат помещений жилых квартир складывался стихийно и тепловой комфорт в них не обеспечивался как в пределах одной квартиры, так и для различных возрастных групп жителей. Это может объясняться не учетом ряда параметров на стадии проектирования жилых зданий, а именно физической активности молодых и пожилых людей, уровня метаболизма и пр. Однократное натурное испытание недостаточно для формирования общих выводов по проблеме, однако очевидно, что на текущий момент требуются комплексные научные исследования и накопление статистической базы для выработки научно-обоснованных рекомендаций по проектированию теплового комфорта в квартирах жилых зданий.

**Список библиографических ссылок**

1. Гильмутдинов Р. Ф., Зиганшин М. Г., Мисбахов Р. М. Численные исследования обогрева помещений приборами лучистого отопления и его энергоэффективности : сб. трудов IV Всероссийской научно-практической конференции (заочной). Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья / ТГУ. Тольятти, 2015. С. 107–112.
2. Денисихина Д. М. Оценка теплового комфорта в помещениях на основе анализа результатов математического моделирования // Вестник ТГАСУ. 2015. № 3. С. 183–193.
3. Денисихина Д. М. Конвективно-радиационный теплообмен человека в задачах математического моделирования распределенных параметров микроклимата в помещениях // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 38 (57). С. 143–150.
4. Sugiono S., Dewi Hardiningtyas. Thermal Comfort Investigation Based On Predicted Mean Vote (PMV) Index Using Computation Fluid Dynamic (CFD) Simulation (Case Study: University of Brawijaya, Malang-Indonesia) // International Science Index. 2014. Vol. 8. № 11. Part X. P. 612–618.

5. Поддубный Р. А., Рябова Т. В., Сулин А. Б. Построение матриц изокомфортных значений параметров микроклимата // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. № 2 (41). С. 68–74.
6. Deshko V. I., Buyak N. A model of human thermal comfort for analyzing the energy performance of buildings // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 4. № 8 (82). P. 42–48.
7. Перехоженцев А. Г. Нормирование сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий по условию теплового комфорта в помещении // Вестник МГСУ. 2016. № 2. С. 173–185.
8. Айзенштадт Б. А. Метод расчета некоторых биоклиматических показателей // Метеорология и гидрология. 1964. № 12. С. 9–16.
9. Головина Е. Г., Трубина М. А. Методика расчетов биометеорологических параметров (индексов). СПб. : Гидрометеоиздат, 1997. 110 с.
10. Рябова Т. В., Сулин А. Б., Санкина Ю. Н. Обоснование и расчет эквивалентных параметров теплового комфорта помещения // Вестник международной академии холода. 2018. № 2. С. 78–84.
11. Fanger P. O. Thermal Comfort. McGrowHill, 1970. 244 p.
12. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека. М. : Стройиздат, 1981. 248 с.
13. Тимофеева Е. И., Федорович Г. В. Экологический мониторинг параметров микроклимата. Монография. М. : НТМ-защита. 2005. 194 с.
14. Stefano Lazzer, Giorgio Bedogni, Claudio L. Lafortuna, Nicoletta Marazzi, Carlo Busti, Raffaela Galli, Alessandra de Col, Fiorenza Agosti, Alessandro Sartorio. Relationship Between Basal Metabolic Rate, Gender, Age, and Body Composition in 8,780 White Obese Subjects // Obesity. 2012. Vol. 18. № 1. P. 71–78.
15. Zhou X., Ouyang Q., Zhu Y., Feng C., Zhang X. Experimental study of the influence of anticipated control on human thermal sensation and thermal comfort // Indoor Air. 2014. Vol. 24. P. 171–177.
16. Гайдук А. Р. Современные солнцезащитные устройства и возможность их применения // Самарский научный вестник. 2017. № 3. С. 202–206.

**Petrov Artem Sergeevich**
candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: ruarty@mail.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Zabirova Aygul Ildarovna**
architect
E-mail: zabirova21@mail.ru
**LLC «PIK-project»**
The organization address: 123022, Russia, Moscow, Krasnaya Presnya st., 24, of. 60

## On the issue of the level of thermal comfort in residential apartments, taking into account the PMV and PPD indices

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to conduct a full-scale study of the microclimate parameters in the premises of several residential apartments in Kazan. According to the data obtained, to assess the thermal comfort in the premises of the apartments, using the PMV and PPD indices, according to the international standard ISO 7730.

*Results*. The discrepancy between the level of thermal comfort for the studied apartments according to the requirements of the international standard was revealed. The presence and location of zones of thermal comfort and discomfort in the apartments was determined, indicating the subjective assessment of tenants according to the calculated PMV and PPD index. The spontaneity of the folding microclimate conditions in residential apartments is shown.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry consists in identifying the fact that the required level of thermal comfort in the premises is not ensured for all residents at a time. This fact is caused by a different level of metabolism in each person, which is the basis of heat exchange processes. The knowledge gained allows to formulate an approach to improving the quality of thermal comfort at the design stage, which consists in increasing the variability of microclimate parameters within one apartment.

**Keywords:** microclimate, equivalent-effective temperature, sanitary and hygienic requirements, thermal comfort index, residential premises.

## References

1. Gil'mutdinov R. F., Ziganshin M. G., Misbahov R. M. Numerical studies of space heating with radiant heating devices and its energy efficiency : dig. of art. All-Russian scientific-practical conference (in absentia). Urban planning, reconstruction and engineering support for sustainable development of the Volga cities / TSU. Tol'yatti, 2015. P. 107–112.
2. Denisihina D. M. Evaluation of thermal comfort in the premises based on the analysis of the results of mathematical modeling // Vestnik TGASU. 2015. № 3. P. 183–193.
3. Denisihina D. M. Convective-radiative heat exchange of a person in the problems of mathematical modeling of distributed microclimate parameters in rooms // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2014. № 38 (57). P. 143–150.
4. Sugiono S., Dewi Hardiningtyas. Thermal Comfort Investigation Based On Predicted Mean Vote (PMV) Index Using Computation Fluid Dynamic (CFD) Simulation (Case Study: University of Brawijaya, Malang-Indonesia) // International Science Index. 2014. Vol. 8. № 11. Part X. P. 612–618.
5. Poddubnyj R. A., Rjabova T. V., Sulin A. B. Construction of matrices of isocomfort microclimate parameters // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2016. № 2 (41). P. 68–74.
6. Deshko V. I., Buyak N. A model of human thermal comfort for analyzing the energy performance of buildings // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 4. № 8 (82). P. 42–48.
7. Perehozhencev A. G. Rationing of heat transfer resistance of external fencing of buildings according to the condition of thermal comfort in the room // Vestnik MGSU. 2016. № 2. P. 173–185.
8. Aizenshtadt B. A. Method of calculation of some bioclimatic indices // Meteorologiya i gidrologiya. 1964. № 12. P. 9–16.
9. Golovina E. G., Trubina M. A. Methods of calculation of biometeorological parameters (indices). SPb. : Gidrometeoizdat, 1997. 110 p.
10. Rjabova T. V., Sulin A. B., Sankina Ju. N. Justification and calculation of equivalent parameters of thermal comfort of the room // Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda. 2018. № 2. P. 78–84.
11. Fanger P. O. Thermal Comfort. McGrowHill, 1970. 244 p.
12. Banhidi L. Thermal Microclimate of Premises. Calculus of the Comfort Parameters of Human Thermal Feelings. M. : Stroyizdat, 1981. 248 p.
13. Timofeeva E. I., Fedorovich G. V. Ecological monitoring of microclimate parameters. Monografija. M. : NTM-zashhita. 2005. 194 p.
14. Stefano Lazzer, Giorgio Bedogni, Claudio L. Lafortuna, Nicoletta Marazzi, Carlo Busti, Raffaela Galli, Alessandra de Col, Fiorenza Agosti, Alessandro Sartorio. Relationship Between Basal Metabolic Rate, Gender, Age, and Body Composition in 8,780 White Obese Subjects // Obesity. 2012. Vol. 18. № 1. P. 71–78.
15. Zhou X., Ouyang Q., Zhu Y., Feng C., Zhang X. Experimental study of the influence of anticipated control on human thermal sensation and thermal comfort // Indoor Air. 2014. Vol. 24. P. 171–177.
16. Gajduk A. R. Modern sunscreen devices and their applicability // Samarskij nauchnyj vestnik. 2017. № 3. P. 202–206.

УДК 662.611
**Таймаров Михаил Александрович**
E-mail: taimarovma@yandex.ru
доктор технических наук, профессор
**Казанский государственный энергетический университет**
Адрес организации: 420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
**Лавирко Юрий Васильевич**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: lav.yu55@gmail.com
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

# Использование мазутного нефтешлама и древесных лесопильных отходов в малой энергетике

**Аннотация**

*Постановка задачи.* После промывки мазутных емкостей на тепловых электростанциях и на других объектах остается много мазутного нефтешлама и замазученных стоков, использовать которые в качестве вторичного топлива без применения топок особой конструкции не представляется возможным. На лесопильных и деревоперерабатывающих предприятиях скапливается много вторичных древесных материалов, перерабатывать которые в востребованные энергоресурсы возможно лишь при наличии соответствующих технологий. Целью исследования является проектирование универсального котла. Задача: комплексное использование нефтешлама и древесных отходов как топлива.

*Результаты.* Предлагается комплексное использование нефтешлама и древесных отходов как топлива для разработанного универсального котла, включающего в себя технические возможности псевдоожиженного, слоевого и факельного сжигания. Разработан универсальный котел с тремя топками для сжигания твердых нефтешламов в псевдоожтженном слое, жидких нефтешламов в камерной топке, древесных отходов в движущемся слое на цепной решетке. Твердый порошкообразный нефтешлам поступает через форкамеру в первую топку, работающую по принципу псевдоожиженного слоя. Высота псевдоожиженного слоя регулируется за счет количества кварцевого песка, загружаемого в первую топку. Вторая топка с помощью газохода соединена с первой топкой. Предварительный разогрев второй топки осуществляется с помощью плоскофакельных горелок, расположенных на двух стенах, за счет сжигания в них топливного природного газа. При этом пламя горелок нагревает огнеупорную футеровку стен второй топки, излучение которой воспламеняет слой древесных отходов на цепной решетке. Третья топка, работающая по принципу камерного сжигания жидких отходов нефтешлама, соединена газоходом со второй топкой. Из второй топки поступают продукты сгорания в третью топку. Газообразные продукты сгорания нефтешлама и продукты сгорания, поступившие из первой и второй топок, отдают теплоту экранным радиационным поверхностям нагрева и далее, конвективным поверхностям нагрева пароперегревателя, экономайзера и воздухоподогревателя. При тепловой мощности котла 30 МВт количество полученной электроэнергии составляет 12 МВт.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что разработан универсальный котел для одновременного сжигания твердого и жидкого нефтешлама и древесины с получением пара энергетических параметров, используемого для выработки электрической энергии. Предложены типы горелок для работы топок псевдоожиженного слоя, слоевого сжигания древесины и камерного сжигания жидкого нефтешлама.

**Ключевые слова:** мазутный нефтешлам, сжигание, форсунка, печь, кипящий слой, факел, тепловая энергия, древесные отходы, котел, цепная решетка, камерное сжигание.

**Введение**

Жидкий мазутный нефтешлам имеет низшую теплоту сгорания около 40 МДж/кг и может использоваться в качестве топлива. Однако его высокая вязкость препятствует его сжиганию с применением обычных форсунок в котлах. После нефтеловушек нефтешлам может находиться в твердом состоянии и иметь низшую теплоту сгорания около 30 МДж/кг.

Древесные отходы лесопильных производств имеют теплоту сгорания около 24 МДж/кг. Многообразие типов древесных отходов: опилки, щепа, кора и т.д. требует разработки универсального типа котла, способного эффективно утилизировать эти отходы с получением высокопотенциальных энергоносителей [1-9]. В данной статье предлагается комплексное использование нефтешлама и древесных отходов как топлива для разработанного универсального котла, включающего в себя технические возможности псевдоожиженного, слоевого и факельного сжигания.

Жидкие нефтешламы являются горючими отходами, имеющими, по сравнению с древесными отходами, высокую теплоту сгорания. В универсальном котле часть этой теплоты может быть использована для повышения температурного уровня процесса горения древесных отходов с целью получения пара, пригодного для использования в паровой турбине. Применение псевдоожиженного слоя, состоящего из нагретых частиц кварцевого песка, позволяет ускорить процесс горения твердых частиц нефтешлама.

Соединение всех топок общим тепловоспринимающим водяным циркуляционным контуром позволяет устранить проблему с периодическими колебаниями температуры в топках при загрузке древесины и твердого нефтешлама.

**Объект исследования**

На рис. 1 приведена схема предлагаемого универсального котла для сжигания нефтешлама и древесных отходов с выработкой пара энергетических параметров для получения электроэнергии.

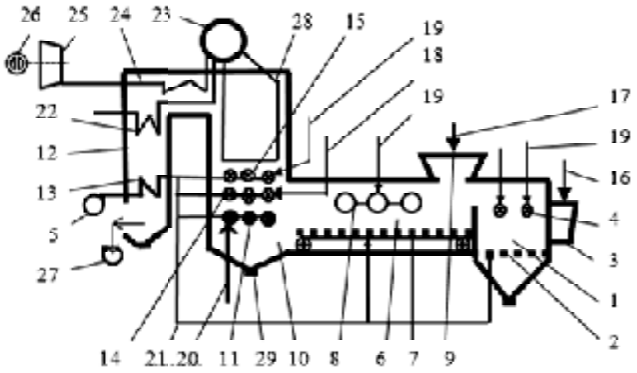



Рис. 1. Схема универсального котла для сжигания мазутного нефтешлама и древесных отходов:
1 – топка псевдоожиженного слоя; 2 – распределительная решетка; 3 – форкамера;
4 – прямоточные газовые горелки; 5 – дутьевой вентилятор; 6 – топка слоевого сжигания;
7 – цепная решетка; 8 – плоскофакельные газовые горелки; 9 – загрузочный бункер;
10 – топка камерного сжигания; 11 – форсунки для сжигания жидкого нефтешлама;
12 – конвективный газоход; 13 – воздухоподогреватель;
14 – горелки для сжигания газообразных нефтеотходов; 15 – вихревые газовые горелки;
16 – твердый нефтешлам; 17 – древесные отходы; 18 – сбросные нефтяные газы;
19 – топливный газ; 20 – жидкий нефтешлам; 21 – нагретый воздух; 22 – экономайзер;
23 – барабан; 24 – пароперегреватель; 25 – турбина; 26 – электрогенератор; 27 – дымосос;
28 – экранные трубы; 29 – затвор (иллюстрация авторов)

В схеме реализованы принципы псевдоожиженного – 1, слоевого – 6 и факельного – 10 сжигания в виде трех топок в составе одного универсального котла. Тепловоспринимающие поверхности котла, размещенные в топке – 10 и в конвективном газоходе – 12, вырабатывают перегретый пар, идущий на турбину – 25, соединенную с электрогенератором – 26.

Предлагаемый универсальный котел изготавливается из номенклатуры типовых изделий, выпускаемых промышленностью, для котлов камерного сжигания, котлов с цепной решеткой и печей кипящего слоя. Однако для функционирования универсального котла необходимо определенное долевое распределение тепловых потоков, получаемых в топках – 1, 6, 10 от сжигания нефтешлама и древесных отходов с различной теплотой сгорания. В противном случае теплотехнические параметры перегретого пара окажутся неприемлемыми для работы паровой турбины – 25.

Котел работает следующим образом. Твердый порошкообразный нефтешлам – 16 подается через форкамеру – 3 в топку псевдоожиженного слоя – 1, в которую через решетку – 2 подается нагретый воздух, нагнетаемый вентилятором – 5. Псевдоожиженный слой создается за счет кварцевого песка, загружаемого в топку – 1.

При первичном пуске через горелки – 4 поступает топливный природный газ – 19, который, после электроискрового поджига, сгорает с выделением теплоты и разогревает, взвешенные в потоке воздуха, частицы порошкообразного нефтешлама до их воспламенения и сгорания.

При этом нагреваются также частицы кварцевого песка, создающие непосредственно псевдоожиженный слой.

После нагрева частиц кварцевого песка до температуры воспламенения нефтешлама сжигание топливного газа прекращается, и тепловыделение происходит только за счет горения нефтешлама.

Образующиеся продукты сгорания отсасываются дымососом – 27 через топку слоевого сжигания – 6, в которую через бункер – 9 на цепную решетку – 7 предварительно загружаются древесные отходы – 17.

Предварительный разогрев топки – 6 производится с помощью плоскофакельных горелок – 8 за счет сжигания в них топливного природного газа – 19.

Пламя горелок – 8 нагревает огнеупорную футеровку стен топки. Излучение огнеупорной футеровки стен топки – 6 нагревает слой древесных отходов до температуры воспламенения.

Нагретый воздух – 21, необходимый для горения древесных отходов, подается снизу через цепную решетку – 7. После разогрева футеровки горелки переводятся на сжигание топливного газа при малом его расходе.

Продукты сгорания древесины вместе с продуктами сгорания твердого нефтешлама отсасываются дымососом – 27 в топку камерного сжигания – 10, в которую через форсунки – 11 для сжигания подается жидкий нефтешлам – 20. Предварительный разогрев топки – 10 осуществляется путем сжигания топливного природного газа с помощью горелок – 15.

Сопутствующие сбросные нефтяные газы – 18 сжигаются в топке – 10 при помощи горелок – 14. Теплота продуктов сгорания в топке – 10 передается через экранные трубы – 28 пароводяной смеси, от которой в барабане – 23 отделяется пар, идущий в пароперегреватель – 24 и затем на турбину – 25, соединенную с электрогенератором – 26.

Продукты сгорания в конвективном газоходе – 12 при пониженной температуре отдают теплоту питательной воде в экономайзере – 22 и нагреваемому воздуху в воздухоподогревателе – 13 и затем через очистное устройство выбрасываются дымососом – 27 через дымовую трубу в атмосферу.

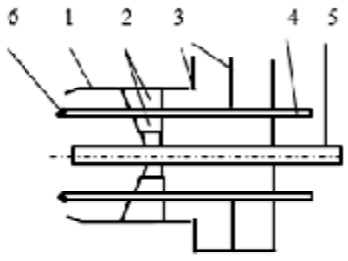



Рис. 2. Схема регулируемой горелки для розжига псевдоожиженного слоя:
1 – корпус; 2 – периферийные аксиальные поворотные лопатки; 3 – воздухоподающие каналы;
4 – поворотные трубы газоподачи; 5 – форсуночная труба; 6 – газораздающие ниппели
(иллюстрация авторов)

Для сжигания нефтешламов и древесных отходов в топках – 1, 6, 10 в данной статье разработаны специальные горелки и форсунки (рис. 2-4).

Предлагаемая горелка (рис. 2) для работы топки псевдоожиженного слоя позволяет регулировать длину и диаметр факела при первоначальном розжиге за счет поворота ниппелей – 6 и осевого перемещения труб газоподачи – 4. Поворотные аксиальные лопатки – 2 обеспечивают лучшее перемешивание сжигаемого газового топлива с воздухом и устраняют возможность появления локальных зон по длине факела с высокой температурой, которая способствует образованию вредных термических оксидов азота.

Плоскофакельная горелка (рис. 3) служит для сжигания топливного природного газа и разогрева футеровки – 2 за счет теплоты факела – 6. Излучение футеровки – 2 воспламеняет древесину, расположенную на движущейся цепной решетке – 7 (рис. 1). Образующаяся при сгорании зола цепной решеткой – 7 подается в холодную воронку и удаляется через затвор – 29 камерной топки (рис. 1).

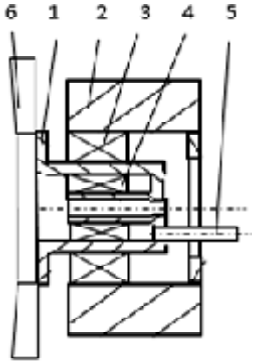



Рис. 3. Схема плоскофакельной горелки для слоевого сжигания древесины:
1 – отражающий диск; 2 – излучающая футеровка; 3 – лопатка воздухозавихрителя;
4 – лопатка газозавихрителя; 5 – газоподающая труба; 6 – плоский газовый факел
(иллюстрация авторов)

Паромеханическая форсунка (рис. 4) служит для сжигания жидкого нефтешлама, подаваемого через штуцер – 7, с помощью водяного пара, подаваемого через штуцер – 6. При взаимодействии потоков мелкодисперсного нефтешлама и водяного пара, выходящих из сопел – 2 и 3, с последующим соударением получаемой эмульсии с диском – 1, образуется мелкодисперсный эмульсионный поток, который, после смешивания с воздухом, воспламеняется за счет теплоты излучения от горящего факела.

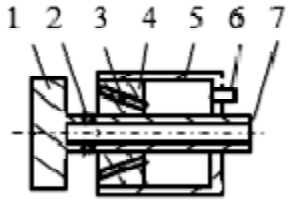



Рис. 4. Схема форсунки для камерного сжигания жидкого нефтешлама:
1 – диск отбойный; 2 – сопло подачи нефтешлама; 3 – сопло подачи водяного пара; 4 – диафрагма;
5 – корпус; 6 – паровой штуцер; 7 – нефтешламовый штуцер (иллюстрация авторов)

По сравнению с применяемыми на котлах форсунками, предлагаемая форсунка позволяет получать короткий мелкодисперсный факел с большим углом раскрытия до $110^{o}$.

**Обсуждение результатов исследования**

Результаты произведенного расчета тепловыделений в топках – 1, 6, 10 для сжигания нефтешламов и древесины при номинальных режимах работы котлоагрегата с использованием рекомендаций [10] приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Тепловой баланс котла с тепловой мощностью 30 МВт при совместном сжигании твердых и жидких нефтешламов, сбросных нефтяных газов и древесных отходов**

| Приход теплоты | Значение, МВт | Расход теплоты | Значение, МВт |
|---|---|---|---|
| Твердый нефтешлам | 7 | Выработка электроэнергии | 12 |
| Древесные отходы | 6 | Отпуск тепла потребителям | 7 |
| Жидкий нефтешлам | 10 | Водоподготовка | 3 |
| Сбросные нефтегазы | 3 | Подготовка нефтешлама и древесины | 3 |
| Растопочный газ | 4 | Теплопотери | 5 |
| Итого | 30 | Итого | 30 |

Теплопотери котла связаны с уходящими газами, с теплотой удаляемой золы, с наружным охлаждением котла, с химическим и механическим недожогом нефтешламов.

Потери тепла могут быть заметно уменьшены путем интенсификации процессов горения в топках – 1 и 6 при помощи усиления радиационного теплообмена за счет применения огнеупорных материалов из хромомагнезита, обладающего высокой излучательной способностью.

Номинальные теплотехнические характеристики предлагаемого котла для сжигания нефтешлама и древесины приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Номинальные теплотехнические параметры предлагаемого котла для сжигания нефтешлама и древесины**

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Паропроизводительность, т/ч | 50 |
| Давление перегретого пара, МПа | 4 |
| Температура перегретого пара, °С | 450 |
| Температура питательной воды, °С | 150 |
| Давление питательной воды, МПа | 7 |
| Концентрация оксидов азота $NO_x$, приведенная к избытку воздуха $\alpha$=1,4, мг/м$^3$ | 294 |
| КПД брутто, % | 83 |

Котел предназначен для работы с паровыми турбинами типа ПТ-12/13-3.4 с регулируемыми производственными и отопительными отборами пара. Применяемый тип турбины позволяет использовать достаточно широкий интервал изменения паропроизводительности котла.

Количество вредных выбросов оксидов азота $NO_x$ зависит от доли по тепловыделению, сжигаемых в котле, жидкого и твердого нефтешлама и древесины. Значение, приведенное в табл. 2, получено для сжигания жидкого и твердого нефтешлама при малой доле древесины.

**Заключение**

Разработан универсальный котел для одновременного сжигания твердого и жидкого нефтешлама и древесины с получением пара энергетических параметров, используемого для выработки электрической энергии.

Предложены типы горелок для работы топок псевдоожиженного слоя, слоевого сжигания древесины и камерного сжигания жидкого нефтешлама.

## Список библиографических ссылок

1. Таймаров М. А., Ахметова Р. В., Сунгатуллин Р. Г., Салтанаева Е. А., Хусаинов Д. Г. Исследование режимных параметров работы котлов при сжигании мазута с повышенным содержанием воды // Вестник КГЭУ. 2017. № 2 (34). С. 68–75.

2. Котел для сжигания промышленных и бытовых отходов : пат. 166214 Рос. Федерация. № 2016119703/03 ; заявл. 20.05.16 ; опубл. 20.11.16, Бюл. № 32. 8 с.
3. Форсунка : пат. 2449216 Рос. Федерация. № 2010145891/06 ; заявл. 10.11.10 ; опубл. 27.04.12, Бюл. № 12. 8 с.
4. Beckmann M., Klepmann F., Johannes J. E., Scholz R., Seifert H. Classification of waste incineration plants in terms of energy recovery // VGB PowerTech. 2007. № 10. P. 76–81.
5. Francios J., Abdelouahed L., Mauviel G., Feidt M., Rogaume C., Mirgaux O., Patisson F., Dufour A. Estimation of the energy efficiency of a wood gasification CHP plant using Aspen Plus // Chemical engineering transactions. 2012. № 29. P. 769–774.
6. Shen Y., Yoshikawa K. Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. № 21. P. 371–392.
7. Uisung L., Elango B., Chung J.N. An experimental evaluation of an integrated biomass gasification and power generation system for distributed power applications // Applied Energy. 2013. № 101. P. 699–708.
8. Тугов А. Н., Москвичев В. Ф. Технологии утилизации ТБО с отбором вторичного сырья и выработкой тепловой и электрической энергии // Новости теплоснабжения. 2011. № 7. С.13–15.
9. Тугов А. Н., Рябов Г. А. Современные ТЭС, сжигающие бытовые отходы в циркулирующем кипящем слое // Энергохозяйство за рубежом. 2008. № 5 (240). С. 12–20.
10. Батенин В. М., Ковбасюк В. И., Кретова Л. Г., Медведев Ю. В. Термическая утилизация твердых бытовых отходов // Теплоэнергетика. 2011. № 3. С. 62–66.
11. Тимошин А. Ф., Николаев А. П., Нитяговский А. М., Ложкина Д. А. Анализ способов утилизации нефтесодержащих отходов и разработка нового комплексного способа утилизации нефтешламов резервуарного типа // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6-2. С. 209–213.
12. Садыков Р. А., Чайковский В. Г. Измерение температур и падающих потоков в топке котла ТГ-104 Сургутской ГРЭС-1 // Вестник машиностроения. 2016. № 2. С. 36–38.

**Taimarov Mikhail Alexandrovich**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: taimarovma@yandex.ru
**Kazan State Power Engineering University**
The organization address: 420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya st., 51
**Lavirko Yuri Vasilyevich**
candidate of technical sciences, associate professor
Email: lav.yu55@gmail.com
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## Use of fuel oil sludge and wood sawmill waste in small-scale energy

**Abstract**

*Problem statement.* After washing the fuel oil tanks at thermal power plants and other facilities, there are lots of oil sludge and oily effluents, which cannot be used as secondary fuel without the use of furnaces of a special design. At sawmills and wood processing enterprises, lots of secondary wood materials are accumulated, which can be processed into demanded energy resources only if appropriate technologies are available. The aim of the study is to design a universal boiler. Task: integrated use of oil sludge and wood waste as fuel.

*Results.* Complex use of wood waste and sludge as fuel for boiler developed, including the technical capabilities of the fluidized bed, grate and flaring. A universal boiler with three furnaces for burning solid oil sludge in a fluidized bed, liquid oil sludge in a chamber furnace, wood waste in a moving layer on a chain lattice was developed. Solid powdered oil sludge

enters through the pre-chamber into the first furnace, working on the principle of a fluidized bed. The height of the fluidized bed is adjusted by the amount of quartz sand loaded into the first furnace. The second furnace with a flue connected to the first furnace. Preheating of the second furnace is carried out with the help of flat-panel burners located on two walls by burning fuel natural gas in them. At the same time, the flame of the burners heats the refractory lining of the walls of the second furnace, the radiation of which ignites the layer of wood waste on the chain lattice. The third furnace, which operates on the principle of chamber combustion of liquid waste oil sludge, is connected by a gas duct to the second furnace. Of the second furnace receives the products of combustion in a third furnace. The gaseous products of combustion of the sludge and the products of combustion received from the first and second inserts, give the heat radiation of the display surfaces, and further, the convection heating surfaces of the superheater, economizer and air heater. With the thermal power of the boiler 30 MW, the amount of electricity generated is 12 MW.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry is that a universal boiler has been developed for the simultaneous combustion of solid and liquid oil sludge and wood to produce a pair of energy parameters used to generate electricity. The types of burners for fluidized bed furnaces, layer combustion of wood and chamber combustion of liquid oil sludge are proposed.

**Keywords**: fuel oil sludge, combustion, nozzle, furnace, fluidized bed, torch, heat energy, wood waste, boiler, chain grate, chamber combustion.

## References

1. Taymarov M. A., Akhmetova R. V., Sungatullin R. G., Saltanayeva Ye. A., Khusainov D. G. Study of operating parameters of boilers during combustion of fuel oil with high water content // Vestnik KGEU. 2017. № 2 (34). P. 68–75.
2. The boiler for the combustion of industrial and domestic waste : patent 166214 of the Rus. Federation. № 2016119703/03 ; ded. 20.05.16 ; publ. 20.11.16, Bull. № 32. 8 p.
3. Nozzle : patent 2449216 of the Rus. Federation. № 2010145891/06 ; ded. 10.11.10 ; publ. 27.04.12, Bull. № 12. 8 p.
4. Beckmann M., Klepmann F., Johannes J. E., Scholz R., Seifert H. Classification of waste incineration plants in terms of energy recovery // VGB PowerTech. 2007. № 10. P. 76–81.
5. Francios J., Abdelouahed L., Mauviel G., Feidt M., Rogaume C., Mirgaux O., Patisson F., Dufour A. Estimation of the energy efficiency of a wood gasification CHP plant using Aspen Plus // Chemical engineering transactions. 2012. № 29. P. 769–774.
6. Shen Y., Yoshikawa K. Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. № 21. P. 371–392.
7. Uisung L., Elango B., Chung J. N. An experimental evaluation of an integrated biomass gasification and power generation system for distributed power applications // Applied Energy. 2013. № 101. P. 699–708.
8. Tugov A. H., Moskvichev V. F. Technology of solid waste disposal with the selection of secondary raw materials and the production of thermal and electric energy // Novosti teplosnabzheniya. 2011. № 7. P. 13–15.
9. Tugov A. N., Ryabov G. A. Modern thermal power plants burning household waste in a circulating fluidized bed // Energokhozyaystvo za rubezhom. 2008. № 5 (240). P. 12–20.
10. Batenin V. M., Kovbasyuk V. I., Kretova L. G., Medvedev Yu. V. Thermal disposal of municipal solid waste // Teploenergetika. 2011. № 3. P. 62–66.
11. Timoshin A. F., Nikolayev A. P., Nityagovskiy A. M., Lozhkina D. A. Analysis of methods of disposal of oily waste and development of a new integrated method of disposal of tank-type oil sludge // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2016. № 6-2. P. 209–213.
12. Sadykov R. A., Chaykovskiy V. G. Measurement of temperatures and falling flows in the boiler furnace TG-104 Surgut GRES-1 // Vestnik mashinostroyeniya. 2016. № 2. P. 36–38.

УДК 541.49
**Мухаметшина Румия Мугаллимовна**
кандидат химических наук, доцент
E-mail: rumya211@yandex.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г.Казань, ул. Зеленая, д. 1
**Морозов Владимир Иванович**
кандидат химических наук
E-mail: vmorozov@iopc.ru
**Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова**
Адрес организации: 420088, Россия, г. Казань, ул. Арбузова, д. 8

# Исследование комплексов меди(II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой методом электронного парамагнитного резонанса

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – изучение процессов комплексообразования меди(II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой и выявление возможности применения оксиэтилидендифосфоновой кислоты в качестве лигандов ионов меди(II) для получения стабильных растворов химического меднения.

*Результаты*. Методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) изучено формирование комплексов меди(II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой. Предложен способ обработки данных ЭПР-измерений для расчета распределения комплексных форм виде зависимости $\frac{d\text{П}}{dpH}$ – *f*(pH), где *П* – параметр спектра ЭПР, который представляется перспективным для описания парамагнитных систем, характеризующихся сложными равновесиями с небольшими относительно ширины линии изменениями магнитных параметров. Установлены составы и рассчитаны константы устойчивости комплексов при различных pH-средах.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что изучены новые материалы на основе комплексов меди с оксиэтилидендифосфоновой кислотой. Установлено, что оксиэтилидендифосфоновая кислота образует устойчивые комплексные соединения с ионами меди(II) и является перспективным лигандом для получения качественных металлических покрытий.

**Ключевые слова:** электронный парамагнитый резонанс, комплексообразование, химическое меднение, лиганд, оксиэтилидендифосфоновая кислота.

## Введение

Современное развитие строительной отрасли трудно представить без применения достижений химии в области синтеза новых химических веществ и материалов. В последние десятилетия широкое применение в строительстве получили полимерные материалы в качестве разнообразных защитных и декоративных покрытий. Перспективным направлением развития данной области является совершенствование технологических процессов получения металлизированных пластмасс. Металлизированные пластмассы обладают износостойкостью, химической устойчивостью, теплостойкостью и механической прочностью, имеют декоративный вид и устойчивы к свету. Благодаря этим свойствам металлизированная пластмасса широко используется в дорожно-строительной отрасли [1].

Одной из важных проблем получения металлизированных пластмасс является выбор комплексообразующих агентов для составления технологических растворов. В настоящее время разработано и внедрено в производство большое число комплексных соединений для осаждения металлов [2-4]. Однако поиск новых, более эффективных лигандов, позволяющих получать покрытия с заданными функциональными свойствами, является актуальной задачей и постоянно привлекает внимание исследователей.

Для оптимизации и разработки перспективных технологических процессов получения металлопокрытий необходимы экспериментальные исследования процессов комплексообразования. С этой точки зрения значительный теоретический и практический интерес представляет изучение закономерностей комплексообразования комплексных ионов меди(II) оксиэтилидендифосфоновой (ОЭДФ) кислотой.

Выбор в качестве лиганда меди(II) оксиэтилидендифосфоновой кислоты можно объяснить ее высокими комплексообразующими свойствами. ОЭДФ – это многоосновная кислота, которая может служить комплексоном в широкой области pH. Соединение нетоксично и доступно в промышленном масштабе. Одной из задач исследования было изучение возможности применения ОЭДФ в качестве лигандов ионов меди(II) в растворах химического меднения, поскольку применяемые в настоящее время на практике растворы химического меднения обладают недостаточной стабильностью, а комплексообразующий агент играет важную роль в обеспечении необходимой стабильности растворов. В связи с проблемой малоотходного производства повышение стабильности растворов химического меднения и разработка новых эффективных технологических процессов является актуальной задачей.

**Метод электронного парамагнитного резонанса**

Для изучения процессов комплексообразования в исследуемых системах был применен метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), который является одним из наиболее чувствительных к изменениям в строении и составе первой координационной сферы металла-комплексообразователя. Основы метода ЭПР и его применение для исследования реакций комплексообразования и состояния парамагнитных ионов в растворах изложены в ряде работ [5-8].

Основными параметрами спектров ЭПР является интенсивность и ширина линий, g-фактор и константа сверхтонкого взаимодействия, которые зависят от симметрии ближайшего окружения центрального иона, так и от природы лиганда.

В данной работе на основе анализа и обработки параметров спектров ЭПР жидких и замороженных растворов установлено вероятное строение образующихся комплексных ионов, а также рассчитаны константы равновесий комплексообразования. Спектры ЭПР записывались на спектрометре РЭ-1306, оборудованном калибратором магнитного поля, собранного на основе измерителя магнитной индукции III-I-I. Образцы помещались в калиброванные капилляры из стекла, которое не давало сигнала ЭПР в рабочей области магнитных полей. Спектры ЭПР снимали при 298 и 77К в трехсантиметровом диапазоне длин волн. Измерение g – факторов исследуемых комплексов проводили путем сравнения с $g$ – фактором ДФПГ.

Определение плотности неспаренного электрона на центральном атоме проводили по формуле:

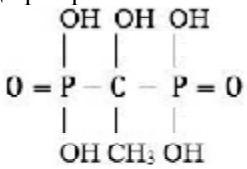
$$\alpha^2 = \frac{A_{\parallel}}{P} + (g_{\parallel} - 2{,}0023) + \frac{3}{7}(g_{\perp} - 2{,}0023) + 0{,}04,$$

где $P$ – константа, характеризующая сверхтонкое взаимодействие в свободном незакомлексованном центральном атоме. Значения $g_{||}$, $g_{\perp}$, $A_{||}$ и $A_{\perp}$ определялись из спектров, снятых при температуре жидкого азота. Расчет констант равновесий комплексообразования проводился с использованием программы *CPESSP* (Chemical Parametres of Equilibria in Solutions with Solid Phases) [9].

**Исследование процессов комплексообразования в системе Cu(II)–ОЭДФ–$H_2O$**

При исследовании процессов осаждения металлов необходимо знание состава и устойчивости образующихся комплексов, их структуры и симметрии ближайшего окружения. Литературные данные о комплексообразовании меди(II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой являются противоречивыми и не дают полного представления о составе и устойчивости образующихся комплексов. Кроме того, исследование равновесий комплексообразования проводилось в области pH до 10. В связи с этим представляется необходимым изучение процессов комплексообразования Cu(II) с ОЭДФ в более широкой области pH с целью разработки перспективных технологических процессов нанесения медных покрытий.

Пятиосновная оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ, $H_5L$) имеет строение:



Для изучения состава и строения комплексов Cu(II) с ОЭДФ в водных растворах при изменении кислотности от 0,5 до 13 был использован метод ЭПР [4]. Параметры спектров ЭПР тонко реагируют на изменения в составе координационной сферы металла-комплексообразователя. Систематические исследования тетрагональных комплексов меди с различными аксиальными и экваториальными лигандами позволили обнаружить четкую корреляцию между параметрами спектров ЭПР и электрон-дативными свойствами лигандов [8, 9]. Так усиление $\sigma$-дативности плоскостных лигандов вызывает увеличение константы сверхтонкой структуры (СТС) и уменьшение величины g-фактора; для аксиальных лигандов эта зависимость имеет обратный характер.

Изменения в параметрах спектров ЭПР достигают наибольших значений, если идет замещение одного сорта лигандов (например, кислородсодержащих) на лиганды другого сорта (например, азотсодержащие), так как донорные способности таких лигандов существенно различны [10]. Замещение же в процессе комплексообразования молекул воды в координационной сфере аквоиона меди на молекулы ОЭДФ, конечно, должно вызывать значительно меньшие изменения в величинах параметров спектров ЭПР, так как окружение меди остается чисто кислородным. Тем не менее последовательное увеличение pH в системе Cu(II)–ОЭДФ–$H_2O$ при переходе от кислой области к щелочной (шаг изменения pH составлял 0,2-0,5) позволяет четко зафиксировать систематические и воспроизводимые изменения в параметрах и форме спектров ЭПР при образовании различных форм комплексов. Отметим, что в работе рассматривали спектры ЭПР только растворимых комплексов; спектры ЭПР комплексов, выпадающих в осадок, не изучали.

На рис. 1-3 представлены характерные спектры ЭПР комплексов меди в различных областях pH при комнатной температуре и температуре жидкого азота. Определенные из спектров ЭПР значения $A_{||}$, $g_{||}$, $g_{\perp}$, и $g_o$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Параметры спектров ЭПР комплексов меди(II) с ОЭДФ в застеклованных растворах (77 К) при различных значениях pH-среды**

| pH | Параметры спектров ЭПР | | | | Условные обозначения типа спектра |
|---|---|---|---|---|---|
| | $g_{||}$(±0,003) | $g_{\perp}$ (±0,003) | $A_{||}$(±1), э | $g_o$(±0,003) | |
| 0,5 | 2,420 | 2,057 | 127 | - | A |
| 1-5,5 | 2,430 | 2,065 | 119 | - | I |
| 1-6 | 2,430 | 2,066 | 124 | - | I′ |
| 1-2 | - | - | - | 2,19 | II |
| 6-9 | 2,400 | 2,053 | 128,5 | - | III |
| 6-7,5 | - | - | - | 2,17 | IV |
| 10-12 | 2,390 | 2,045 | 133,5 | - | V |

Форма спектров ЭПР и значения параметров спин-гамильтониана ионов меди в водном растворе ОЭДФ при pH 0,5 для избытка лигандов и в области pH 0,5-1,3 для недостатка лигандов не отличается от соответствующих параметров и формы спектров ЭПР аквокомплексов меди (А). Выше этих значений pH отмечается участие различных форм ОЭДФ в комплексообразовании с металлом, причем в каждой области pH превалирует определенный вид комплексов. Так, при избытке лигандов по отношению к меди ([Cu]:[ОЭДФ] = 1:5) в кислой и слабощелочной областях при 77 К наблюдается анизотропный спектр с разрешенными в параллельной ориентации компонентами сверхтонкой структуры, а при комнатной температуре – изотропный асимметричный спектр с неразрешенной СТС ($g_o$=2,18).

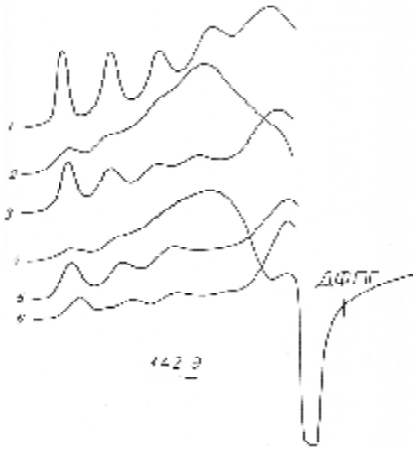


Рис. 1. Спектры ЭПР комплексов Cu(II) с ОЭДФ в застеклованных растворах при различных значениях pH среды: 1 – 0,5; 2 – 1,52; 3 – 3,0; 4 – 6,5; 5 – 9,6; 6 – 11,5; $C_{Cu(II)}$ = 0,05 моль/л; $C_{ОЭДФ}$ = 0,25 моль/л (иллюстрация авторов)

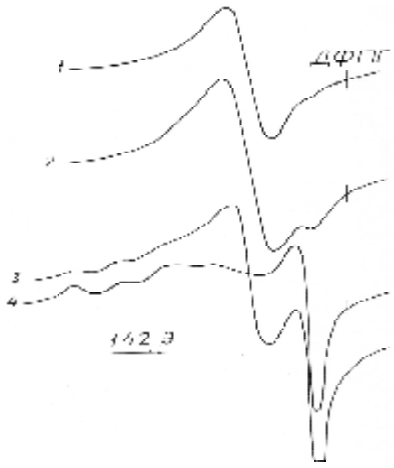


Рис. 2. Спектры ЭПР комплексов Cu(II) с ОЭДФ в застеклованных растворах при pH 7,5 и различном соотношении металл – лиганд: 1 – 2:1; 2 – 1:1; 3 – 1:2; 4 – 1:4; $C_{Cu(II)}$ = 0,05 моль/л. Спектры записаны при разном усилении (иллюстрация авторов)

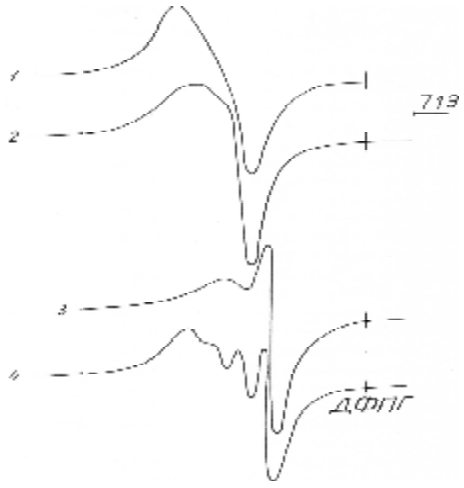


Рис. 3. Спектры ЭПР комплексов Cu(II) с ОЭДФ в жидких растворах при различных значения pH-среды: 1 – 0,5; 2 – 3,0; 3 и 4 – 10. Спектры 1-3 сняты при 293 К, а спектр 4 при 363 К. $C_{Cu(II)}$ = 0,05 моль/л; $C_{ОЭДФ}$ = 0,25 моль/л (иллюстрация авторов)

Для рассматриваемого анизотропного спектра характерно уменьшение константы $A_{||}$ и увеличение $g_{||}$ и $g_{\perp}$ (условно обозначим этот тип спектра как тип I) по сравнению с аналогичными значениями параметров для аквоиона. При недостатке лигандов ([Cu]:[ОЭДФ] = 2:1) наблюдается анизотропный спектр типа I' (табл. 1), для которого константа $A_{||}$ и имеет хотя и меньшее значение, чем для аквокомплекса, но несколько большее, чем для комплекса со спектром типа I. Наблюдаемое изменение параметров анизотропных спектров ЭПР для комплексов, образующихся в кислой области, свидетельствует об упрочнении аксиальных связей меди с лигандами. Интенсивность этих спектров максимальна при pH 3, а затем, по мере увеличения pH до 5,5, резко уменьшается, что свидетельствует о понижении в растворе концентрации комплексов, дающих эти спектры. Параллельно происходит увеличение выпадающего нерастворимого осадка, спектры ЭПР которого в данной работе не исследовали. Особенно интенсивно образование нерастворимых комплексов происходит в области pH 3,5-5,5. Начиная с pH 6, интенсивность сигнала ЭПР в растворе резко возрастает, т.е. образуются новые виды растворимых комплексов. До значения pH 9 в растворе преобладают комплексы с параметрами анизотропного спектра типа III, а в области pH 10-12 – комплексы, дающие анизотропные спектры типа V. Уменьшение $g_{||}$ и $g_{\perp}$ и увеличение $A_{||}$ в спектрах III и V этих комплексов по сравнению с аналогичными параметрами спектра аквокомплекса и спектров типа I и I' указывают на усиление плоскостных связей меди с лигандами, причем в комплексе со спектром типа V эта связь сильнее, чем в комплексе со спектром типа III. Еще раз отметим, что хотя изменения параметров анизотропных спектров, отнесенных нами к различным типам комплексов, незначительны, но их повторяемость и систематичность позволяют сделать такое отнесение достаточно уверенно.

При комнатной и более высоких температурах в условиях избытка лигандов, начиная с pH 7,5 и выше, наблюдаются изотропные спектры ЭПР с разрешенной СТС, имеющие типичный для ионов меди в растворах асимметричный вид с уширением компонент СТС в сторону меньших магнитных полей. При комнатной температуре асимметрия настолько велика, что практически четко прописывается лишь высокополевая компонента СТС. При повышении температуры спектр становится более симметричным и наблюдаются все компоненты СТС (рис. 3) (при 343К $a_o$=49,6 э, $g_o$=2,173).

В застеклованных растворах как в кислой области (pH 1-2), так и в нейтральной среде (pH 6-7,5) наряду с анизотропными спектрами, характерными для изолированных комплексов, наблюдаются изотропные сигналы (соответственно типы II и IV), значения $g$-факторов которых ($g_o$) согласуются с величинами $g_{ср}=(g_{||}+2\,g_{\perp})/3$, где $g_{||}$ и $g_{\perp}$ характеризуют положение линий соответствующих анизотропных спектров (табл. 1, рис. 1-3). Заметим, что при недостатке лигандов по отношению к меди ([Cu]:[ОЭДФ] = 2:1) относительная концентрация комплексов, дающих изотропные сигналы, значительно превалирует над концентрацией комплексов с анизотропными спектрами (рис. 2). В то же время общее содержание комплексов при недостатке лигандов существенно меньше, чем при их избытке, т.е. при [Cu]:[ОЭДФ] = 1:2 или 1:5. Кроме того, при избытке лигандов концентрация комплексов с изотропным сигналом резко убывает с повышением pH-среды.

**Результаты исследований и их обсуждение**

Взаимодействие меди с, вводимым в водный раствор, пятиосновым лигандом ОЭДФ оказывает заметное влияние на характер наблюдаемых спектров ЭПР. Изотропные спектры с разрешенной сверхтонкой структурой в жидких растворах и анизотропные спектры в жидких и застеклованных растворах принадлежат изолированным комплексам меди. Комплексообразующие свойства ОЭДФ находятся в большой зависимости от величины pH раствора. Согласно литературным данным [11], в кислой области в результате процесса ступенчатой диссоциации комплексообразование меди с лигандом происходит за счет вытеснения протонов из двух гидроксогрупп – по одной в каждой фосфоновой группировке – с образованием шестичленного хелатного цикла. Поскольку значения параметров спектров ЭПР указывают на усиление аксиальных связей иона металла с лигандом по сравнению с аквокомплексом, мы полагаем, что координация кислородов фосфоновых группировок происходит в результате вытеснения одной

экваториальной и одной аксиальной молекул воды в ближайшем окружении аквоиона меди (комплекс со спектром типа I'). Хорошо известно, что в аквокомплексе меди аксиальные молекулы воды связаны с ионом металла гораздо слабее, чем экваториальные (вытянутый октаэдр), поэтому комплексообразование меди с лигандом более эффективно проявляется в усилении именно аксиальной связи в результате уменьшения расстояния от иона до аксиального лиганда. При избытке лигандов по отношению к меди аксиальная связь усиливается еще больше (спектр типа I), что свидетельствует о координации в аксиальном положении и второй молекулы лиганда. Таким образом, исходя из наших данных, мы можем полагать, что в кислой области в условиях недостатка лиганда образуется комплекс состава $[Cu(H_3L)]^0$, а при избытке лиганда комплекс $[Cu(H_3L)_2]^{2-}$.

Параметры спектров ЭПР растворимых изолированных комплексов, образующихся в щелочной области, указывают уже на усиление экваториальных связей металла с лигандом (комплексы со спектрами типа III и V). Для лигандов, содержащих фосфоновые группы, характерно образование в определенных областях pH как шестичленных [3], так и четырехчленных [12] циклов, в которых ион металла координируется с атомами кислорода или различных фосфоновых групп или одной фосфоновой группы. Учитывая тот факт, что мономерные комплексы, дающие анизотропные спектры типа III и V, образуются в основном при соотношении [Cu]:[ОЭДФ] = 1:2 и выше, и сопоставляя данные, полученные нами методом ЭПР, с данными других авторов [2-7], мы можем сделать заключение, что основными мономерными формами в растворе при pH 6-9 будут $[Cu(H_2L)_2]^{4-}$ и при pH 10-12 $[Cu(HL)_2]^{6-}$ с атомами кислорода фосфоновых групп, координированных в плоскости металла. Сильную асимметрию изотропных спектров, наблюдаемую при комнатной температуре, мы связываем с заторможенностью вращательного движения, обязанную большой массе комплексов $Cu(H_2L)_2$ и $Cu(HL)_2$.

Уменьшение $g_{||}$, $g_{\perp}$ и увеличение $A_{||}$ в спектрах этих комплексов по сравнению с аналогичными параметрами спектров аквакомплекса и комплексов $[CuH_3L]^0$, $[Cu(H_3L)_2]^{2-}$ указывает на усиление плоскостных связей меди с лигандами. Интенсивность спектра ЭПР, обусловленного накоплением комплексной частицы $[Cu(HL)_2]^{6-}$ максимальна при pH 11, а затем, начиная с pH 11,5, интенсивность сигнала уменьшается, что может свидетельствовать об образовании биядерных комплексов. Поскольку литературные данные о составе и устойчивости образующихся комплексных ионов в щелочной области (pH 9-13) отсутствуют, на основании данных метода ЭПР производилось моделирование равновесных процессов в системе Cu(II)–ОЭДФ–$H_2O$ в виде зависимости $\frac{d\Pi}{dpH} - f(\text{pH})$, где *П* – параметр спектра ЭПР. Обработкой экспериментальной зависимости $I=f(pH)$, где $I$ – интенсивность сигнала ЭПР, с помощью программы ***CPESSP*** получены константы равновесий образования и константы устойчивости выявленных комплексных форм. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Константы равновесия образования ($K_p$) и устойчивости ($\beta$) комплексов меди(II) с ОДЭФ (L)**

| Комплекс | $lgK_p$ | $lg\beta$ |
|---|---|---|
| $[Cu(HL)_2]^{6-}$ | -29,5 | 16,44 |
| $[Cu_2(HL)_2]^{4-}$ | -20,04 | 25,9 |
| $[Cu_2(HL)L]^{5-}$ | -28,71 | 29,23 |
| $[Cu_2L_2]^{6-}$ | -39,52 | 30,42 |
| $[CuL]^{3-}$ | -21,65 | 13,32 |
| $[Cu_2L(OH)_2]^{3-}$ | -33,25 | 29,72 |

В литературе имеются ограниченные сведения о применении фосфорорганических лигандов, в том числе ОЭДФ, в процессах осаждения металлопокрытий. Так как нами исследовались процессы комплексообразования меди(II) с ОЭДФ, представляет практический интерес изучение возможности получения медных покрытий из растворов на основе ОЭДФ.

Для исследования был выбран процесс химического меднения, который в настоящее время широко используется на практике для получения электропроводящего подслоя меди и самостоятельного медного покрытия на диэлектриках. Однако распространенные в производстве растворы химического меднения обладают недостаточной стабильностью и не всегда покрытие получается хорошего качества. К тому же применяемые лиганды (тартрат, трилон Б) дефицитны.

Нами разработан раствор для химического меднения на основе комплексов меди с оксиэтилидендифосфоновой кислотой. Опыты проводились с растворами меднения, содержащим (моль/л): $CuSO_4 \cdot 5H_2O$–0,1; лиганд (ОЭДФ) – 0,2; формальдегид – 0,3; NaOH – до pH 12,8. Как показали опыты, из растворов с ОЭДФ можно получать, хорошо сцепленные с основой, равномерные, мелкокристаллические и плотные осадки меди. Особенностями процесса меднения в растворе с ОЭДФ является его высокая стабильность, хорошее качество покрытия светло-розового цвета, напоминающее гальваническую медь.

При исследовании процессов комплесообразования меди(II) с ОЭДФ нами установлено, что в сильнощелочных растворах ионы меди(II) присутствуют в основном в виде $[Cu_2L_2]^{6-}$ в системе Cu(II)–ОЭДФ–$H_2O$. Были определены константы устойчивости образующихся комплексов: $[Cu_2L_2]^{6-}$–$lg\beta$=30,42. Если сравнить комплексы меди с ОЭДФ с традиционными в растворах химического меднения трилонатными комплексами ($lg\beta$=21,1), то оказывается, что комплексы меди с ОЭДФ являются наиболее устойчивыми, что, вероятно и обуславливает высокую стабильность растворов меднения на основе оксиэтилидендифосфоновой кислоты.

**Заключение**

Методом электронного парамагнитного резонанса изучено формирование комплексов меди(II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой. Определены константы устойчивости комплексов и области их существования. Установлено, что оксиэтилидендифосфоновая кислота образует устойчивые комплексные соединения с ионами меди(II) и является перспективным лигандом для получения качественных металлических покрытий.

## Список библиографических ссылок


1. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling of traction-coupling properties of wheel propulsor // Journal of Physics: Conference Series. 2017. T. 738. № 2. P. 012115.
2. Дятлова Н. М., Темкина В. Я. Исследование комплексонатов металлов. // Координационная химия. 1975. Т. 1. № 1. С. 66–82.
3. Кабачник М. И., Медведь Т. Я., Дятлова Н. М. // Успехи химии. 1974. Т. 43. № 9. С. 1554–1574.
4. Schoenberg L. N. The Structure of the Complexed Copper Species in Electroless Copper Plating Solutions // J. Electrochem. Soc. 1971. V. 118. № 10. P. 1571–1576.
5. Вертц Д., Болтон Д. Теория и практические приложения метода ЭПР. М. : Мир. 1975. 548 с.
6. Пентин Ю. А., Волков Л. В. Физические методы исследования в химии. М. : Мир. 2006. 683 с.
7. Ракитин Ю. В., Ларин Г. М., Минин В. В. Интерпретация спектров ЭПР координационных соединений. М. : Наука. 1993. 400 с.
8. Brustolon M., Gifmello E. Electron Paramagnetic Resonance. A Practitioner′s Toolkit. Hoboken : John Wiley&Sons. Inc. 2009. 553 p.
9. Сальников Ю. И., Девятов Ф. В., Журавлева Н. Е., Голодницкая Д. В. Комплексообразование кобальта(II) и никеля(II) с лимонной кислотой // Неорганическая химия. 1984. Т. 29. № 9. С. 2273–2276.

10. Уханова С. И. Стабилизаторы раствора химического меднения // Обмен опытом в радиопромышленности. 1983. № 2. С. 12–15.
11. Wada H., Fernando Q. Analyt. Chem.1971. V. 43. № 6. 751 p.
12. Дятлова Н. М., Темкина В. Я., Попов К. И. Комплексоны и комплексонаты металлов. М. : Химия, 1988. 544 с.

**Mukhametshina Rumiya Mugallimovna**
candidate of chemical sciences, associate professor
E-mail: rumya211@yandex.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Morozov Vladimir Ivanovich**
E-mail: vmorozov@iopc.ru
**A.E. Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, RAS**
The organization address: 420088, Russia, Kazan, Arbuzov st., 8

## Study of copper(II) complexes with hydroxyethylidene diphosphonic acid by electron paramagnetic resonance method

**Abstract**

*Problem statement*. The purpose of the research is to study the complexation of copper(II) with hydroxyethylidene diphosphonic acid and to identify the possibility of using hydroxyethylidene diphosphonic acid as ligands of copper(II) ions to obtain stable solutions of chemical copper plating.

*Results.* The formation of copper(II) complexes with hydroxyethylidene diphosphonic acid has been studied by the electron paramagnetic resonance (EPR) method. A method is proposed for processing EPR data – measurements for calculating the distribution of complex forms in the form of the dependence dП/dpH – f(pH), where P is the parameter of the EPR spectrum, which seems promising for describing paramagnetic systems characterized by complex equilibria with small relative magnetic line widths. The compositions were established and the stability constants of the complexes were calculated at various pH-range .

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that new materials have been studied based on copper complexes with hydroxyethylidene diphosphonic acid. It has been established that hydroxyethylidene diphosphonic acid forms stable complex compounds with copper(II) ions and is a promising ligand for obtaining high-quality metallic coatings.

**Keywords:** electron paramagnetic resonance, complexation, chemical copper plating, ligand, hydroxyethylidene diphosphonic acid.

## References

1. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling of traction-coupling properties of wheel propulsor // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 738. № 2. P. 012115.
2. Dyatlova N. M., Temkina V. Ya. Investigation of metal complexonates. // Coordinatsionnaya khimiya. 1975. Vol. 1. № 1. P. 66–82.
3. Kabachnik M. I., Medved T. Ya., Dyatlova N. M. // Uspekhi khimii. 1974. Vol. 43. № 9. P. 1554–1574.
4. Schoenberg L. N. The Structure of the Complexed Copper Species in Electroless Copper Plating Solutions // J. Electrochem. Soc. 1971. Vol. 118. № 10. P. 1571–1576.
5. Wertz D., Bolton D. Theory and practical applications of the EPR method. M. : Mir. 1975. 548 p.
6. Pentin Yu. A., Volkov L. V. Physical research methods in chemistry. M. : Mir. 2006. 683 p.

7. Rakitin Yu. V., Larin G. M., Minin V. V. Interpretation of EPR spectra of coordination compounds. M. : Nauka. 1993. 400 p.
8. Brustolon M., Gifmello E. Electron Paramagnetic Resonance. A Practitioner′s Toolkit. Hoboken : John Wiley&Sons. Inc. 2009. 553 p.
9. Salnikov Yu. I., Devyatov F. V., Zhuravleva N. E., Golodnitskaya D. V. Complexation of cobalt (II) and nickel (II) with citric acid // Inorganic Chemistry. 1984. Vol. 29. № 9. P. 2273–2276.
10. Ukhanova S. I. Stabilizers of a solution of chemical copper plating // Obmen opytom v radiopromyshlennosti. 1983. № 2. P. 12–15.
11. Wada H., Fernando Q. Analyt. Chem.1971. Vol. 43. № 6. 751 p.
12. Dyatlova N. M., Temkina V. Ya., Popov K. I. Metal complexones and complexonates. M. : Khimiya, 1988. 554 p.

УДК 691.3
**Перцев Виктор Тихонович**
доктор технических наук, профессор
E-mail: perec_v@mail.ru
**Воронежский государственный технический университет**
Адрес организации: 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-лет Октября, д. 84
**Перова Надежда Сергеевна**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
E-mail: gon4arn@yandex.ru
**Леденев Андрей Александрович**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
E-mail: ledenoff@mail.ru
**Загоруйко Татьяна Викторовна**
кандидат технических наук, преподаватель
E-mail: tzagoruiko@mail.ru
**ВУНЦ ВВС Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина**
Адрес организации: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54А

# Влияние наноструктурирующих компонентов на характеристики цементного камня и свойства высокопрочных и термостойких бетонов

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – выявить влияние наноструктурирующих компонентов на характеристики цементного камня и свойства высокопрочных и термостойких бетонов. Полученные результаты позволят научно обоснованно подойти к получению высокопрочных и термостойких бетонов.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в получении количественных структурных характеристик цементного камня высокопрочного бетона, модифицированного углеродными нанотрубками, а также бетона повышенной термостойкости, включающего природные шунгитовые углеродные компоненты, имеющие фуллереноподобную наноструктуру. Исследования на микро- и наноуровне показали определяющую роль наноструктурирующих компонентов в формировании структуры и обеспечении свойств бетонов. Полученные данные позволили расширить представления о механизмах структурообразования цементного камня и научно обоснованно подойти к разработке бетонов со специальными свойствами.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в получении высокопрочных и термостойких бетонов, модифицированных наноструктурирующими компонентами. Практическая реализация полученных бетонов заключается в их использовании в двухслойных железобетонных конструкциях, включающих несущий слой из высокопрочного бетона и огнезащитный слой из термостойкого бетона для зданий и сооружений, к которым предъявляются повышенные требования по несущей способности и устойчивости при огневом воздействии.

**Ключевые слова:** наноструктурирующие компоненты, цементный камень, структурные характеристики, высокопрочный бетон, термостойкий бетон.

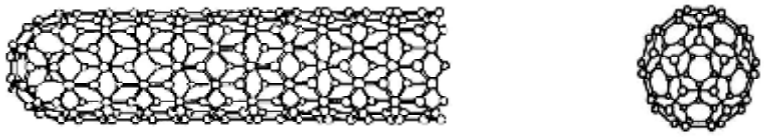
## Введение

Современное строительство невозможно представить без массового применения бетона и железобетона в гражданском промышленном секторе, в том числе при возведении зданий и сооружений военного назначения. В настоящее время существует необходимость получения высокопрочных бетонов, бетонов с высокой ранней прочностью, с высокой морозостойкостью, водонепроницаемостью, а также специальных видов бетонов повышенной термостойкости для огнестойких конструкций. Расширение области практического применения таких бетонов связано со строительством сложных и ответственных объектов, к которым предъявляются повышенные требования:

уникальные высотные здания и сооружения, большепролетные мосты и тоннели, защитные сооружения военного назначения и др.

Получение бетонов с улучшенными характеристиками невозможно без комплексного применения химических, минеральных, органоминеральных, а также наноструктурирующих компонентов, применение которых, за счет направленного структурообразования на нано- и микроуровнях, дает возможность получить высокопрочные и специальные термостойкие бетоны, значительно превосходящие по своим свойствам существующие аналоги.

Для модифицирования структуры и получения бетонов с улучшенными характеристиками эффективными материалами являются углеродные нанотрубки, нановолокна, природные фуллерены – шунгит, шунгизит, шунгитовый углерод, наночастицы аморфного микрокремнезема и другие наноразмерные добавки [1-7]. Эффективность применения углеродных нанотрубок, представляющих собой полые цилиндрические однослойные или многослойные образования диаметром 0,4-100 нм (рис. 1а), а также микро- и наночастиц шунгитовых пород, имеющих фуллереноподобную структуру, в которой атомы углерода расположены в вершинах правильных пятиугольников (рис. 1б), обусловлена особенностями их строения и проявлением свойств в гетерогенных цементных системах.



а) б)

Рис. 1. Схематическое изображение моделей однослойной нанотрубки (а) и молекулы природного фуллерена шунгитовых пород (б) [8, 9]

Формирование структуры с наноразмерными частицами существенно отличается от поведения классических цементных систем. При их использовании роль границ раздела фаз и межфазных явлений существенно возрастает. В таких системах структурообразующая роль наноразмерных частиц, связана с проявлением их роли как зародышей – центров кристаллизации, эффективной подложки и центров зонирования новообразований, наноармирующих элементов цементного камня [1-7, 10]. Вместе с тем, механизмы формирования структур цементного камня и бетона, модифицированного наноструктурирующими компонентами, остаются малоизученными. Вследствие высокой поверхностной энергии частиц, характерными процессами являются агрегирование, самоорганизация и формирование фрактально-кластерных структур. Это требует применения новых методов дезагрегации и распределения таких частиц в структуре бетона. При этом, немаловажными резервами повышения прочности бетонов является совершенствование контактной зоны и поверхности раздела между заполнителем и цементным камнем на микро- и наноуровне, а также повышение плотности за счет изменения характера порового пространства. В связи с этим более глубокие исследования характеристик цементного камня, модифицированного наноструктурирующими добавками, с целью получения высокопрочных бетонов являются актуальными.

Для бетонов повышенной термостойкости, актуальным направлением является применение новых видов термо- и жаростойких заполнителей и наполнителей. Кроме того, так как термостойкость бетона во многом зависит от его теплопроводности и способности передавать теплоту по всему объему, важным является применение компонентов, обеспечивающих синхронное снижение теплопроводности при огневом воздействии. В данном случае эффективными могут быть бетоны, в состав которых входит шунгит, особенностью которого является способность вспучиваться при нагреве. Выбор шунгита также обусловлен его свойствами, определяющимися уникальной наноструктурой и составом, включающим до 30 % шунгитового углерода, до 70 % силикатных материалов в виде мелкодисперсного кварца 1-10 мкм и других элементов. Наличие в углеродистом

веществе шунгитовых пород природных фуллереноподобных наноструктурных элементов размером 10-30 нм (рис. 1б) предопределяет его высокую активность в окислительно-восстановительных реакциях, высокую адгезию, совместимость с вяжущими, что позволяет создавать новые композиционные материалы со специальными свойствами.

Дальнейшие детальные исследования и оценка характеристик цементного камня, модифицированного наноструктурирующими компонентами, позволят расширить представления о механизмах формирования структуры высокопрочного бетона, модифицированного нанотрубками; определить роль шунгитовых наполнителей, имеющих фуллереноподобные наноструктуры, в изменении свойств и формировании структуры бетонов повышенной термостойкости при высокотемпературном воздействии; оценить взаимосвязь структурных характеристик цементного камня на микро- и наноуровне со свойствами высокопрочного и термостойкого бетонов.

**Методология исследований, сырьевые материалы**

В данной работе представлены обобщенные результаты оценки характеристик высокопрочных и термостойких бетонов, модифицированных наноструктурирующими компонентами. Были изучены состав, структура и свойства контактной зоны цементного камня, характер связей и морфология кристаллов цементного камня, параметры порового пространства и другие характеристики. Полученные данные позволили научно обоснованно подойти к управлению процессами структурообразования и получению бетонов со специальными свойствами.

В качестве наноструктурирующих частиц цементного камня высокопрочных бетонов применяли углеродные нанотрубки серии «Таунит», длиной до 200 нм, наружным диаметром 20-70 нм, внутренним диаметром 5-10 нм. С целью дезагрегации и изменения физико-химических свойств поверхности углеродных нанотрубок было осуществлено их модифицирование посредством окисления по ранее разработанной методике [10]. Дозировка модифицированных нанотрубок составляла 0,1 % от массы цемента. Для дополнительного диспергирования углеродных нанотрубок их применяли в комплексе с поверхностно-активным веществом – пластифицирующей добавкой С-3, дозировкой 0,5 % от массы цемента.

Для получения бетонов повышенной термостойкости основополагающим компонентом являлся молотый шунгит. Дисперсионный анализ показал, что основная масса частиц шунгита характеризуется размером менее 0,315 мм (табл. 1), что предопределяет его высокую поверхностную активность в процессах структурообразования цементного камня.

Таблица 1

**Зерновой состав шунгита**

| Остаток | Остатки на ситах (% по массе) | | | | | Проход через сито № 016 (% по массе) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,16 | |
| частный | 6,2 | 5,3 | 6,8 | 12,7 | 45,4 | 23,6 |
| полный | 6,2 | 11,5 | 18,3 | 31,0 | 76,4 | - |

Для исследования микро- и наноструктурных характеристик цементного камня высокопрочного бетона и бетона повышенной термостойкости применяли комплекс физико-химических методов. Структуру цементного камня и бетона изучали с помощью сканирующего микроскопа Scanning Electron Microscope «JEOL JSM-6380LV». Элементный состав цементного камня в контактной зоне определяли с помощью энергодисперсной приставки INCA energy 25. Оптические исследования структуры цементного камня и бетона проводили на установке, включающей микроскоп BIOLAM и цифровой фотоаппарат Olympus SP-500 UZ. Гранулометрический состав тонкодисперсных частиц шунгита определяли с использованием лазерного анализатора частиц FRITISH. Микротвердость контактной зоны цементного камня определяли с помощью прибора ПМТ-3. Пористость и термостойкость бетона определяли по стандартным методикам, регламентируемым ГОСТами.

**Оценка структурных характеристик и свойств высокопрочных бетонов**

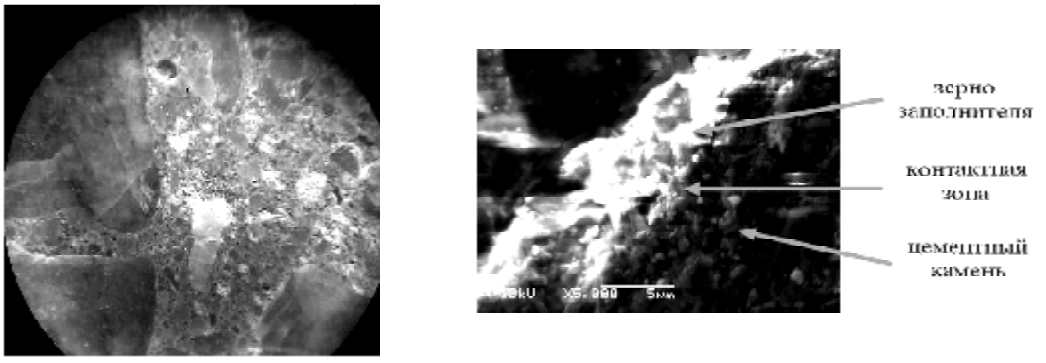
Результаты физико-механических испытаний показали, что применение модифицированных углеродных нанотрубок в комплексе с суперпластификатором С-3 позволяет значительно повысить плотность и прочность цементного камня [10] (табл. 2). Как и предполагалось, нанотрубки, являясь центрами кристаллизации, изменяют кинетику физико-химических процессов в твердеющей цементной системе. В возрасте 3-х суток прочность модифицированного цементного камня составила 65 МПа, что на 20 % выше прочности контрольного состава без добавок. К 28 суткам твердения прочность цементного камня увеличилась до 40 % и составила 108 МПа, что говорит об увеличении числа и площади фазовых контактов. Также установлено значительное увеличение микротвердости модифицированного цементного камня по сравнению с контрольным составом: в зоне контакта микротвердость увеличивается до 30 %, в объеме цементного камня до 25 %.

Таблица 2

**Физико-механические свойства цементного камня (В/Ц = 0,25)**

| Вид цементного камня | Плотность, кг/м$^3$ | Прочность на сжатие, МПа | | Микротвердость, кг/мм$^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 суток | 28 суток | в контактной зоне | в объеме цементного камня |
| контрольный состав без добавок | 2080 | 53 | 82 | 406 | 420 |
| с добавкой нанотрубки + С-3 | 2190 | 65 | 108 | 525 | 530 |

С применением комплексной добавки – нанотрубки + С-3 были получены высокопрочные бетоны, с прочностью на сжатие в возрасте 3-х суток 42 МПа, в возрасте 28 суток – 75 МПа. Микроскопические исследования показали взаимосвязь полученных результатов физико-механических испытаний цементного камня и бетона с его микроструктурой (рис. 2). Исследованиями контактной зоны на границе «цементный камень-заполнитель» установлено, что при введении комплексной добавки – нанотрубки + С-3, формируется слой повышенной плотности и прочности. Это способствует повышению микротвердости и улучшению механических свойств цементного камня и бетона.




а) б)

Рис. 2. Макроструктура бетона × 25 (а)
и микроструктура × 5000 (б) контактной зоны цементного камня и заполнителя
с комплексной добавкой – нанотрубки + С-3 (иллюстрация автора)

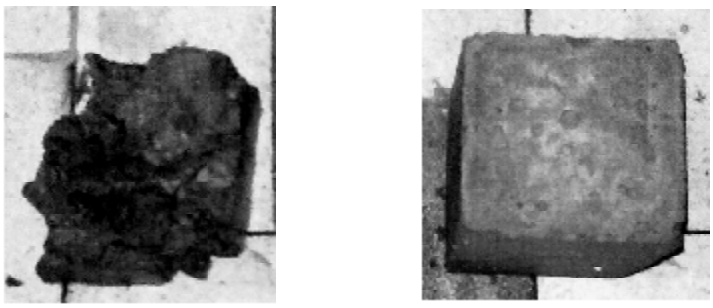
Результаты определения пористости соотносятся с физико-механическими характеристиками модифицированного бетона: полный объем пор уменьшился на 25 % с 12,1 до 5,4 %, при этом относительное содержание микропор значительно увеличилось на 47 % с 0,26 до 0,55 % по сравнению с бетоном без добавок (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты сравнительной оценки пористости бетона**

| Вид бетона | Пористость бетона, % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Полный объем пор | Объем открытых капиллярных пор | Объем открытых некапиллярных пор | Объем условно-закрытых пор | Микро-пористость |
| тяжелый бетон без добавок | 12,1 | 5,12 | 4,79 | 2,19 | 0,26 |
| тяжелый бетон с добавкой – нанотрубки + С-3 | 5,4 | 3,86 | 1,20 | 0,34 | 0,55 |

Также установлено, что с применением комплексной добавки – нанотрубки + С-3, помимо улучшения физико-механических свойств, существенно увеличивается термостойкость высокопрочного бетона: при температуре 600 °С термостойкость повысилась с 3 до 7 циклов, при температуре 800 °С – с 1 до 3 циклов. При высокотемпературном воздействии модифицированные бетонные образцы сохранили целостность, без существенных трещин и сколов (рис. 3), что объясняется повышенной плотностью, уменьшением пористости и активным влиянием добавок углеродных нанотрубок на сохранение структуры и свойств.



а) б)

Рис. 3. Вид бетона после третьей теплосмены испытаний на термостойкость при 600 °С:
а) тяжелый бетон без добавок; б) тяжелый бетон с комплексной добавкой – нанотрубки + С-3
(иллюстрация автора)

Таким образом, исследования характеристик цементного камня, модифицированного наноструктурирующими добавками, показали структурообразующую роль углеродных нанотрубок в формировании структуры и получении высокопрочных бетонов.

**Оценка структурных характеристик и свойств термостойких бетонов**

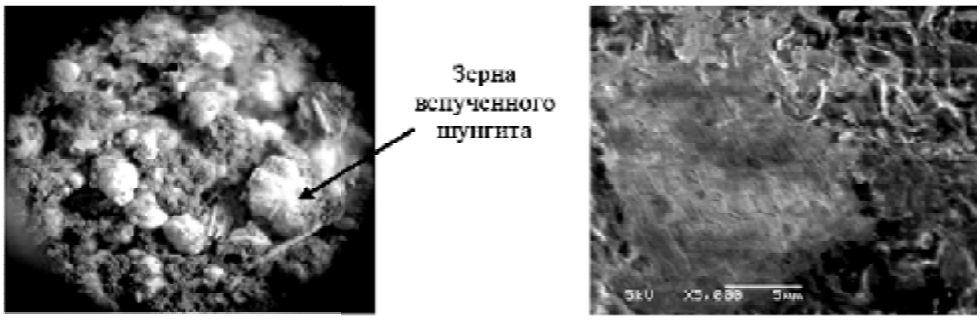
Для термостойких бетонов основополагающим этапом исследований явилось изучение структурных изменений и свойств при высокотемпературном воздействии (табл. 4). Установлено, что с увеличением температуры термостойкость бетона с применением шунгита значительно увеличивается по сравнению с контрольным составом мелкозернистого бетона: при 700 °С термостойкость повышается более чем в 5 раз, при 900 °С – в 6 раз, при 1100 °С – в 8 раз. Повышение термостойкости с ростом температуры сопровождается снижением плотности и теплопроводности термостойкого бетона до 30 % с 0,26 до 0,19 Вт/(м·ºС) за счет вспучивания шунгита, что в условиях огневого воздействия будет способствовать замедлению скорости прогрева железобетонных конструкций [11].

Таблица 4

**Влияние высокотемпературного воздействия на теплофизические и физико-механические свойства бетона повышенной термостойкости**

| Вид бетона | Температура, °С | Термостойкость, теплосмены | Теплопроводность, Вт/(м·°С) | Средняя плотность, кг/м$^3$ | Прочность на сжатие после 1 теплосмены, МПа |
|---|---|---|---|---|---|
| контрольный состав (мелкозернистый бетон без добавок) | 700 | 3 | 0,33 | 1500 | 8,9 |
| | 900 | 2 | 0,29 | 1480 | 5,1 |
| | 1100 | 0 | образец разрушился | | |
| бетон повышенной термостойкости с шунгитом | 700 | 17 | 0,26 | 1430 | 11,2 |
| | 900 | 12 | 0,24 | 1160 | 10,6 |
| | 1100 | 8 | 0,19 | 860 | 8,1 |

Также установлена взаимосвязь изменений свойств термостойкого бетона со структурными характеристиками. Показано, что значительные изменения в структуре, обусловленные интенсивным вспучиванием шунгита, происходят при температуре 900-1100 °С (рис. 4). Макроструктура бетона характеризуется отсутствием разрушений, визуально наблюдается вспучивание зерен шунгита (рис. 4а). При этом микроструктура цементного камня в зоне контакта с частицами шунгита является оплавленной с четко выраженными плотными зонами (рис. 4б).




а) б)

Рис. 4. Макроструктура термостойкого бетона × 50 раз (а)
и микроструктура цементного камня (б) в контактной зоне с шунгитом × 5000 раз
после высокотемпературного воздействия при 1100 °С (иллюстрация автора)

Исследования химического и элементного состава цементного камня в контактной зоне с шунгитом показали существенные изменения, происходящие при температуре 900-1100 °С. Установлено увеличение углеродосодержащих соединений в 15 раз, в то же время снижается содержание оксидов кремния в 2 раза, а также оксидов кальция – в 3 раза, содержание кислорода и оксидов алюминия меняется несущественно (рис. 5).

Изменения химического, элементного, а также, вероятно, фазового состава, протекающие при высокотемпературном нагреве, свидетельствуют об активном влиянии частиц шунгита, включающего фуллереноподобные углеродные наноструктурные элементы, в формировании структуры контактной зоны цементного камня и в обеспечении динамического изменения теплофизических характеристик термостойкого бетона без появления трещин и существенного снижения прочности.

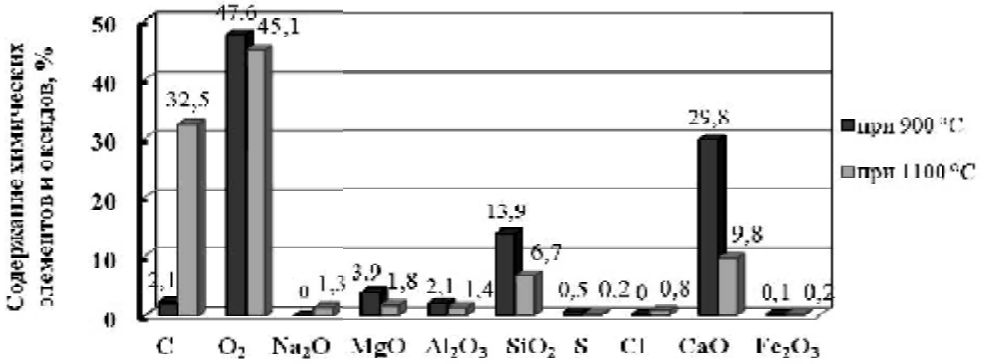



Рис. 5. Влияние высокотемпературного воздействия
на изменение химического и элементного состава цементного камня
в зоне контакта с зернами шунгита (иллюстрация автора)

Таким образом, результаты исследований показали возможность эффективного применения наноструктурирующих компонентов для получения высокопрочных и термостойких бетонов. Практическая реализация полученных многофункциональных бетонов со специальными свойствами заключается в возможности их применения для железобетонных конструкций, к которым предъявляются повышенные требования по несущей способности и устойчивости при огневом и ударно-волновом воздействиях. В частности, одним из перспективных направлений является разработка двухслойных железобетонных конструкций, включающих основной несущий слой из высокопрочного бетона и огнезащитный слой из бетона повышенной термостойкости.

**Заключение**

Представленные обобщенные результаты исследований структурных характеристик высокопрочного бетона, модифицированного углеродными нанотрубками, а также бетона повышенной термостойкости, включающего шунгитовые углеродные компоненты, имеющие фуллереноподобные наноструктуры, позволили расширить представления о механизмах структурообразования цементного камня и бетона на микро- и наноуровне. Установлена определяющая роль наноструктурирующих компонентов в формировании структуры высокопрочных бетонов, а также в структурных изменениях, происходящих при высокотемпературном воздействии в бетонах повышенной термостойкости. Полученные данные дают возможность научно обоснованно подойти к получению бетонов со специальными свойствами для строительства зданий и сооружений, к которым предъявляются повышенные требования по несущей способности и устойчивости при огневом и ударно-волновом воздействии.

## Список библиографических ссылок

1. Баженов Ю. М., Фаликман В. Р., Булгаков Б. И. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 125–133.
2. Королев Е. В. Нанотехнология в строительном материаловедении. Анализ состояния и достижений. Пути развития // Строительные материалы. 2014. № 11. С. 47–79.
3. Яковлев Г. И., Полянских И. С., Первушин Г. Н., Скрипкюнас Г., Пудов И. А., Карпова Е. А. Структурная модификация новообразований в цементной матрице дисперсиями углеродных нанотрубок и нанокремнеземом // Строительные материалы. 2016. № 1-2. С. 16–20.
4. Урханова Л. А., Буянтуев С. Л., Лхасаранов С. А., Кузнецова А. Ю. Использование фуллеренсодержащей добавки для улучшения свойств цемента и бетона // Строительные материалы. 2016. № 1-2. С. 32–37.

5. Chuah S., Pan Z., Sanjaan J. G., Wang C. M., Duan W. H. Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from grapheme oxide. Construction and Building materials. 2014. Vol. 73. P. 113–124.
6. Jyoti Bharj, Sarabjit Singh, Subhash Chander, Rabinder Singh. Role of dispersion of multiwalled carbon nanotubes on compressive strength of cement. International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering. 2014. Vol. 8. № 2. P. 340–343.
7. Sakthieswarana N., Sureshb M. A study on strength properties for cement mortal added with carbon nanotubes and zeolite. International Journal of Engineering and Computer Science. 2015. Vol. 4. Is. 6. P. 12402–12406.
8. Мосин О. В. Новый природный минеральный сорбент – шунгит // Сантехника, 2011. № 3. С. 34–36.
9. Ткачев А. Г., Золотухин И. В. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур. М. : Машиностроение-1. 2007. 316 с.
10. Гончарова Н. С., Перцев В. Т., Власов В. В., Рудаков О. Б. Высококачественные бетоны на основе местных сырьевых материалов, модифицированные нанотрубками // Научный вестник ВГАСУ. 2012. № 2 (26). С. 46–54.
11. Леденев А. А., Перцев В. Т., Калач А. В., Загоруйко Т. В., Калач Е. В., Донец С. А. Управление огнестойкостью железобетонных конструкций вариатропной структуры // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». 2016. № 4. С. 16–22.

**Pertsev Victor Tihonovich**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: perec_v@mail.ru
**Voronezh State Technical University**
The organization address: 394006, Russia, Voronezh, 20-letiia Oktiabria st., 84
**Perova Nadezhda Sergeevna**
candidate of technical sciences, senior staff scientist
E-mail: gon4arn@yandex.ru
**Ledenev Andrey Aleksandrovich**
candidate of technical sciences, senior staff scientist
E-mail: ledenoff@mail.ru
**Zagorujko Tatyana Viktorovna**
candidate of technical sciences, lecturer
E-mail: tzagoruiko@mail.ru
**MESC AF N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy**
The organization address: 394064, Russia, Voronezh, St. Bol'shevikov st., 54a

## Influence of nanostructuring components on characteristics of a cement stone and property of high-strength and heat-resistant concrete

**Abstract**

*Problem statement.* The aim of the research – to reveal the influence of nanostructuring components on characteristics of a cement stone and property of high-strength and heat-resistant concrete. The received results will allow to approach to reception of high-strength and heat-resistant concrete reasonably scientifically.

*Results.* The main results of the study consist in reception of quantitative structural characteristics of a cement stone of the high-strength concrete modified carbon nanotubes, and also the concrete of the raised thermal stability including natural schungite carbon components, having fullerene nanostructure. Researches on micro- and nanolevel have shown defining role nanostructuring components in formation of structure and maintenance of properties of concrete. The obtained data have allowed to expand representations about mechanisms of structurization of a cement stone and to approach to working out of concrete with special properties reasonably scientifically.

*Conclusions.* The significance of the work results for the construction industry consists in reception of the high-strength and heat-resistant concrete modified nanostructuring by components. Practical realization of the received concrete consists in their use in the two-layer ferroconcrete designs including bearing layer from high-strength concrete and a fireproof layer from heat-resistant concrete for buildings and constructions to which increased requirements on bearing ability and stability are shown at fire influence.

**Keywords:** nanostructuring components, a cement stone, structural characteristics, high-strength concrete, heat-resistant concrete.

## References

1. Bazhenov Ju. M., Falikman V. R., Bulgakov B. I. Nanomaterials and nanotechnologies in modern technology of concrete // Vestnik MGSU. 2012. № 12. P. 125–133.
2. Korolev E. V. Nanotechnology in material science. Analysis of achievements and current state // Stroitel'nye materialy. 2014. № 11. P. 47–79.
3. Jakovlev G. I., Poljanskih I. S., Pervushin G. N., Skripkjunas G., Pudov I. A., Karpova E. A. Structural modification of new formations in cement matrix using carbon nanotubes dispersions and nanosilica // Stroitel'nye materialy. 2016. № 1-2. P. 16–20.
4. Urhanova L. A., Bujantuev S. L., Lhasaranov S. A., Kuznecova A. Ju. Using the fullerene additive for improve the properties of cement and concrete // Stroitel'nye materialy. 2016. № 1-2. P. 32–37.
5. Chuah S., Pan Z., Sanjaan J. G., Wang C. M., Duan W. H. Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from grapheme oxide. Construction and Building materials. 2014. Vol. 73. P. 113–124.
6. Jyoti Bharj, Sarabjit Singh, Subhash Chander, Rabinder Singh. Role of dispersion of multiwalled carbon nanotubes on compressive strength of cement. International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering. 2014. Vol. 8. № 2. P. 340–343.
7. Sakthieswarana N., Sureshb M. A study on strength properties for cement mortal added with carbon nanotubes and zeolite. International Journal of Engineering and Computer Science. 2015. Vol. 4. Is. 6. P. 12402–12406.
8. Mosin O. V. New natural mineral sorbent – schungite // Santehnika, 2011. № 3. P. 34–36.
9. Tkachev A. G., Zolotuhin I. V. Equipment and methods of synthesis of solid-state nanostructures. M. : Mashinostroenie-1. 2007. 316 p.
10. Goncharova N. S., Pertsev V. T., Vlasov V. V., Rudakov O. B. High quality concrete based on local raw materials modified with carbon nanotubes // Nauchnyj vestnik VGASU. 2012. № 2 (26). P. 46–54.
11. Ledenev A. A., Percev V. T., Kalach A. V., Zagorujko T. V., Kalach E. V., Donec S. A. Fire resistance control of reinforced concrete structures of variable structure // Nauchno-teoreticheskij zhurnal «Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova». 2016. № 4. P. 16–22.

УДК 666.94.9
**Рахимов Равиль Зуфарович**
доктор технических наук, профессор
E-mail: rahimov@kgasu.ru
**Рахимова Наиля Равилевна**
доктор технических наук, профессор
E-mail: rahimova.07@list.ru
**Гайфуллин Альберт Ринатович**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: 447044@list.ru
**Бикмухаметов Артур Рустэмович**
аспирант
E-mail: alfbot@mail.ru
**Казанский Государственный Архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
**Морозов Владимир Петрович**
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 состава и температуры прокаливания добавок каолиновой и полиминеральной глины в портландцемент на свойства цементного камня

**Аннотация**

*Постановка задачи*. Цель исследования – выявить особенности влияния добавок в портландцемент глин различного состава и температуры прокаливания на свойства цементного камня.

*Результаты*. В данной работе приведены результаты исследований влияния состава и температуры прокаливания добавок глин, молотых до 250 $м^2$/кг, на свойства цементного камня. Наиболее значительное повышение показателей свойств цементного камня достигается при введении добавок глинитов каолиновой глины, полученных термоактивацией при температурах 300 и 600 $^0$C, а добавок глинитов полиминеральной безкаолинитовой глины, полученной термоактивацией при температуре 400 $^0$C.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что они позволяют сделать вывод о возможности производства экономически и технически эффективных добавок в портландцемент на основе распространенного глинистого сырья при относительно невысоких энергозатратах на их термоактивацию и помол.

**Ключевые слова:** портландцемент, добавка, глина, состав, прокаливание, температура, содержание, прочность, цементный камень, средняя плотность.

## Введение

Введение тонкомолотых минеральных добавок – одно из направлений решения проблем ресурсо- энергосбережения и экологии в производстве минеральных вяжущих веществ и материалов на их основе [1-4]. Ожидаемое к 2050-му году производство цемента до 5-6 млрд. т [2, 5] и возрастающие требования сокращения эмиссии $CO_2$ связаны с необходимостью расширения применения объемов и номенклатуры минеральных добавок. Наиболее распространенным, доступным и экологически эффективным в настоящее время и в перспективе расширения объемов производства минеральных добавок является глинистое сырье – различные разновидности глин [6, 7]. Термоактивированные глины с древних времен применялись в качестве минеральных добавок в минеральные вяжущие и материалы на их основе [8, 9]. Наряду с ними для этого стали применяться и получили преимущественное распространение природные пуццоланы – опока, трепел, туф, вулканический пепел, пемза, диатомит, трасс и техногенные продукты – металлургические шлаки и топливные шлаки и золы. Однако неравномерное распределение и запасы месторождений по странам и регионам

источников природных пуццоланов и образования техногенного сырья для использования их в качестве минеральных добавок в последние десятилетия заставили науку и производство направить усилия на исследования эффективности производства и применения глинистого сырья для получения минеральных добавок к вяжущим веществам [6, 10, 11]. Наибольшее распространение исследований и применения из термоактивированных глинистых материалов в настоящее время получил метакаолин – продукт прокаливания каолиновых глин [12, 13]. Метакаолин, несмотря на подтвержденную эффективность, не может производиться в достаточных объемах как пуццолановая добавка для цементов в связи с ограниченностью месторождений и запасов во многих, включая Российскую Федерацию [14], странах и регионах, и высокой потребностью в них в других отраслях, а также высокой стоимостью. Кроме того, отдельными исследованиями [15-18] установлено, что широко распространенные и неограниченные по запасам полиминеральные, в том числе и малокаолинитовые и безкаолинитовые глины, термоактивированные при определенных температурах и даже меньшей удельной поверхности, чем метакаолин, не уступают ему по эффективности в качестве минеральных добавок в портландцемент. Ниже приведены результаты сравнительных исследований влияния на свойства цемента и цементного камня содержания добавок, активированных при различных температурах каолиновой глины и полиминеральной безкаолиновой глины.

**Материалы для исследования**

а) Портландцемент. Для определения пуццолановой активности термоактивированных глин использовался портландцемент ЦЕМ I.

Химический состав цемента, масс, %:

$CaO$-63,00; $SiO_2$-20,50; $Al_2O_3$-4,50; $Fe_2O_3$-4,50; $SO_3$-3,00.

Минералогический состав цемента:

$C_3S$-67,00; $C_2S$-11,00; $C_3A$-4,00; $C_4AF$-15,00.

Показатели портландцемента:

- удельная поверхность ($см^2/г$) – 345,00;
- насыпная плотность (г/л) – 1000,00;
- нормальная густота (%) – 27;
- начало / конец схватывания (мин) – 170/250.

б) Характеристика глин. При исследованиях приняты глины:

- Нижне-Увельская (НУГ) – Челябинская область;
- Сарай-Чекурчинская (СЧГ) – Республика Татарстан.

В табл. 1-2 приведены химический и минеральный составы указанных выше глин.

Таблица 1

**Химический состав принятых при исследовании глин**

| № п/п | Разновидность глины | $H_2O$ | Содержание в % на абсолютно сухую навеску | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | $CaO$ | $MgO$ | $MnO$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | $P_2O_5$ | $SO_3/S$ | ппп | Сумма |
| 1 | НУГ | 0,66 | 66,79 | 20,75 | 1,63 | 0,98 | 0,62 | 0,41 | 0,04 | <0,3 | 0,65 | 0,08 | 0,13 | 7,7 | 99,73 |
| 2 | СЧГ | 3,41 | 68,52 | 13,42 | 6,18 | 0,86 | 1,33 | 1,66 | 0,1 | 1,2 | 1,82 | 0,09 | <0,05 | 4,62 | 99,8 |

Таблица 2

**Минеральный состав принятых при исследованиях глин**

| № п/п | Разновидность глины | Минеральный состав, % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Кварц | Каолинит | Слюда | Ортоклаз | Плагиоклаз | Смешанно-слоистый глинистый минерал | Хлорит |
| 1 | НУГ | 33 | 62 | 4 | - | 1 | - | - |
| 2 | СЧГ | 28 | - | 10 | 7 | 8 | 40 | 4 |

В СЧГ смешанно-слоистый разбухающий минерал имеет 40 % неразбухающих слоев. Расчет приведен на 100 % кристаллической фазы без учета возможного содержания рентгеноаморфной составляющей. Рентгенофазовый анализ (РФА) глин проведен с использованием дифрактометра D8 Advance фирмы Bruker. НУГ представляет собой каолиновую глину. СЧГ – полиминеральная глина без каолинита.

На рис. 1-2 приведены кривые дифференциально-термического анализа (ДТА) глин НУГ и СЧГ.

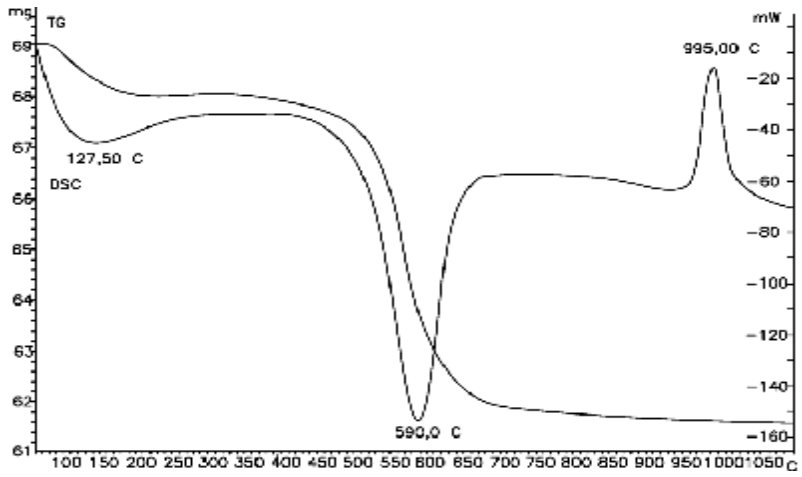



Рис. 1. Кривые ДТА Нижне-Увельской глины (иллюстрация авторов)

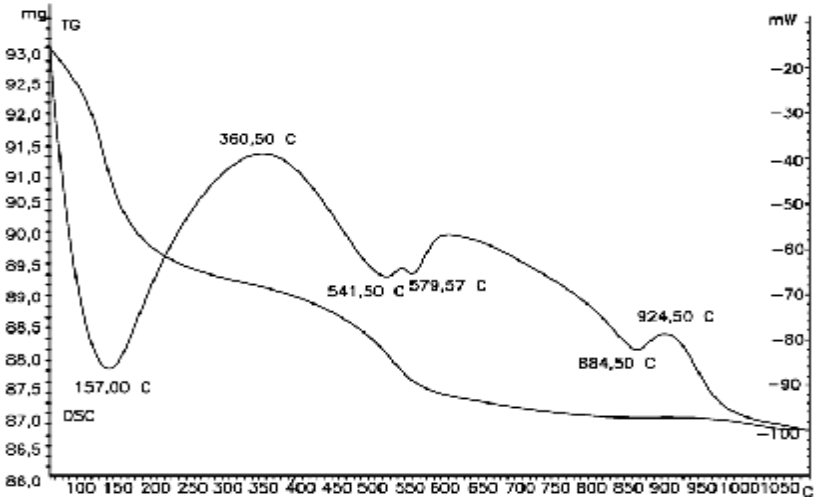



Рис. 2. Кривые ДТА Сарай-Чекурчинской глины (иллюстрация авторов)

**Приготовление образцов для испытаний и методы исследований**

а) Предварительная подготовка добавок глин: глины подвергались термической обработке при температурах 100, 300, 400, 600 и 800 $^0$C до достижения постоянной массы, охлаждались до нормальной температуры. Помол производился с использованием лабораторной планетарной мельницы МПЛ-1 до удельной поверхности 250 м$^2$/кг.

б) Образцы цементного камня на основе портландцемента без добавок и с добавками 5, 10, 15 и 20 % по массе глинитов изготавливались из теста нормальной густоты размерами 20×20×20 мм.

Образцы выдерживались в течение 24 часов в нормально-влажностных условиях, затем подвергались тепловлажностной обработке в пропарочной камере по режиму: 4 часа подогрев до 85 $^0$C, изотермическая выдержка 6 часов, 3 часа охлаждение до 35-40 $^0$C.

Термообработка глин производилась по режиму: подогрев со скоростью 3 $^0$C/мин, изотермическая выдержка до достижения постоянной массы, охлаждение в, отключенных из электросети, сушильной камере и печах до нормальной температуры.

в) Контрольные показатели свойств и методы испытаний:

- исследования проводились с определением изменения свойств цементного теста и камня – нормальной густоты, средней плотности, прочности, водостойкости и водопоглощения;

- прочность цементного камня контролировалась по их показателям испытания на сжатие;

- водостойкость определялась по изменению коэффициента размягчения образцов по соотношению показателей их прочности при сжатии в насыщенном водой и в сухом состоянии;

- водопоглощение образцов определялось по приросту их массы после выдержки в воде при температуре 20-22 $^0$С до полного насыщения, в процентах к их массе до погружения в воду.

Каждый показатель определялся по результатам испытаний 6-ти образцов.

**Показатели физико-механических свойств цементного камня с добавками глинитов в сравнении с соответствующими показателями цементного камня без добавок**

В табл. 3-4 приведены показатели свойств бездобавочного цемента и цементного камня и с добавками термообработанных глин.

Таблица 3

**Показатели свойств цемента и цементного камня с добавками НУГ**

| Количество добавки, % | Показатели свойств | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Нормальная густота, % | Средняя плотность кг/м$^3$ | Предел прочности при сжатии, МПа | Водопоглощение, % | Коэффициент размягчения |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Без добавок | | | | | |
| - | 26,0 | 2270 | 57,3 | 1,0 | 0,92 |
| НУГ, высушенная при 100 $^o$С | | | | | |
| 5 | 26,7 | 2198 | **59.5** | 4,0 | 0,90 |
| 10 | 27,2 | 2160 | **62,3** | 4,0 | 0,86 |
| 15 | 27,6 | 2100 | 42,3 | 6,0 | 0,84 |
| 20 | 27,9 | 2100 | 40,0 | 8,0 | 0,84 |
| НУГ, прокаленная при 300 $^o$С | | | | | |
| 5 | 27,0 | **2383** | **76,5** | 1,61 | **0,96** |
| 10 | 27,3 | **2355** | **75,5** | 1,63 | **0,96** |
| 15 | 27,5 | **2318** | **71,1** | 1,71 | **0,94** |
| 20 | 28,8 | **2271** | 56,1 | 1,93 | **0,93** |
| НУГ, прокаленная при 400 $^o$С | | | | | |
| 5 | 27,3 | 2234 | **68,0** | 2,0 | **0,95** |
| 10 | 27,5 | 2231 | **70,9** | 2,1 | **0,95** |
| 15 | 27,8 | 2222 | **59,4** | 2,3 | **0,94** |
| 20 | 28,1 | 2180 | 46,0 | 2,9 | 0,92 |
| НУГ, прокаленная при 600 $^o$С | | | | | |
| 5 | 27,3 | 2259 | **81,5** | 1,21 | **0,96** |
| 10 | 27,6 | 2264 | **87,6** | 1,32 | **0,96** |
| 15 | 27,8 | 2266 | **78,6** | 1,47 | **0,94** |
| 20 | 28,2 | 2177 | **66,6** | 2,50 | **0,94** |
| НУГ, прокаленная при 800 $^o$С | | | | | |
| 5 | 27,5 | 2222 | **72,3** | 1,11 | **0,95** |
| 10 | 27,8 | 2200 | **76,5** | 1,19 | **0,94** |
| 15 | 28,1 | 2178 | **69,2** | 1,32 | 0,92 |
| 20 | 28,6 | 2178 | 55,8 | 2,20 | 0,92 |

Примечание: жирным шрифтом выделены показатели, показатели которых превышают свойства цементного камня без добавок.

Таблица 4

**Показатели свойств цемента и цементного камня с добавками СЧГ**

| Количество добавки, % | Показатели свойств | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Нормальная густота, % | Средняя плотность кг/м$^3$ | Предел прочности при сжатии, МПа | Водопоглощение, % | Коэффициент размягчения |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Без добавок | | | | | |
| - | 26,0 | 2270 | 57,3 | 1,0 | 0,92 |
| СЧГ, высушенная при 100 $^o$C | | | | | |
| 5 | 26,3 | 2250 | 54,3 | 3,2 | 0,92 |
| 10 | 26,6 | 2222 | 51,7 | 3,4 | 0,92 |
| 15 | 27,0 | 2165 | 49,3 | 3,6 | 0,92 |
| 20 | 27,5 | 2165 | 42,0 | 4,0 | 0,87 |
| СЧГ, прокаленная при 300 $^o$C | | | | | |
| 5 | 26,5 | **2315** | **60,0** | 2,4 | **0,95** |
| 10 | 26,7 | **2311** | **58,0** | 2,4 | **0,95** |
| 15 | 26,9 | **2305** | 50,0 | 2,6 | **0,91** |
| 20 | 27,2 | **2300** | 43,5 | 2,9 | **0,93** |
| СЧГ, прокаленная при 400 $^o$C | | | | | |
| 5 | 26,7 | **2340** | **83,2** | 2,00 | **0,97** |
| 10 | 27,0 | **2335** | **79,0** | 2,23 | **0,975** |
| 15 | 27,3 | **2310** | **70,1** | 2,25 | **0,975** |
| 20 | 28,1 | **2298** | **64,1** | 2,01 | **0,96** |
| СЧГ, прокаленная при 600 $^o$C | | | | | |
| 5 | 26,9 | **2295** | **64,5** | 1,1 | **0,94** |
| 10 | 27,1 | **2290** | **63,5** | 1,2 | **0,94** |
| 15 | 27,5 | 2260 | **60,1** | 1,1 | **0,93** |
| 20 | 28,2 | 2260 | **56,1** | 1,0 | 0,92 |
| СЧГ, прокаленная при 800 $^o$C | | | | | |
| 5 | 27,1 | **2320** | **74,1** | 1,8 | **0,95** |
| 10 | 27,4 | **2315** | **70,5** | 1,8 | **0,96** |
| 15 | 27,8 | **2230** | **68,1** | 1,85 | **0,96** |
| 20 | 28,3 | **2290** | **60,1** | 1,85 | **0,96** |

Примечание: жирным шрифтом выделены показатели, превышающие показатели свойств бездобавочного цементного камня.

Анализ приведенных в табл. 3-4 данных показал, что подвергнутые сушке при 100 $^o$C добавки 5-10 % НУГ в цемент не снизили прочность при сжатии цементного камня, а добавки 15-20 % снизили ее более, чем на 20 %; добавки 5-20 % снизили плотность цементного камня на 3-6 %, коэффициент размягчения – до 0,9-0,84 и повысили его водопоглощение на 4-8 %.

Подвергнуты сушке при 100 $^0$C: добавки 5-15 % СЧГ не повлияли на водостойкость цементного камня; добавки 5-20 % СЧГ менее значительно, чем аналогичные добавки НУГ, снизили среднюю плотность, увеличили водопоглощение и более значительно снизили прочность цементного камня.

Термоактивированные при 300 $^0$C: добавки 5-15 % НУГ повысили среднюю плотность цементного камня на 2,0-5,0 %, водопоглощение до 1,6-1,7 %, предел прочности при сжатии на 23,0-33,0 %, коэффициент размягчения с 0,92 до 0,94-0,96.

Термоактивированные при 300 $^0$C: добавки 5-10 % СЧГ незначительно повысили прочность цементного камня; добавки 5,0-20,0 % повысили среднюю плотность на 2,0-3,0 %, водопоглощение с 1,0 % до 2,4-2,9 %, коэффициент размягчения – с 0,92 до 0,93-0,96; добавки 15-20 % снизили прочность при сжатии на 12-25 %.

Термоактивированные при 400 $^0$C: добавки 5-15 % НУГ повысили прочность цементного камня на 3,5-20,0 %, водопоглощение до 2,0-2,3 %, коэффициент размягчения до 0,94-0,95; добавки 5-20 % снизили среднюю плотность на 2,0 %; добавка 20 % НУГ снизила прочность на 20 %.

Термоактивированные при 400 $^0$С: добавки 5-20 % СЧГ повысили прочность цементного камня на 11,8-43,4 %, водопоглощение до 2,0-2,25 %, коэффициент размягчения до 0,96-0,975, среднюю плотность на 0,70-3,1 %.

Термоактивированные при 600 $^0$С: добавки 5-20 % НУГ повысили прочность цементного камня на 49,1-16,2 %, водопоглощение до 1,21-2,50 %, коэффициент размягчения до 0,94-0,96 и понизили среднюю плотность на 0,2-4 %.

Термоактивированные при 600 $^0$С: добавки 5-20 % СЧГ повысили прочность цементного камня на 12-0,2 %, водопоглощение до 1,0-1,2 %, коэффициент размягчения до 0,93-0,94, незначительно повлияли на его среднюю плотность.

Термоактивированные при 800 $^0$С: добавки 5-15 % НУГ повысили прочность цементного камня на 33,5-20 %, водопоглощение до 1,11-1,32 %, коэффициент размягчения размягчения до 0,92-0,95 и снизили среднюю плотность на 2-4 %.

Термоактивированные при 800 $^0$С: добавки 5-20 % СЧГ повысили прочность цементного камня на 5-29 %, среднюю плотность на 0,9-2,0 %, водопоглощение до 1,80-1,85 % и коэффициент размягчения до 0,95-0,96.

Добавки НУГ, прокаленной при 600 $^0$С, приводят к более высоким показателям свойств цементного камня, чем прокаленных при температурах 300 $^0$С, 400 $^0$С и 800 $^0$С; добавки, прокаленной при 300 $^0$С, приводят к более высоким показателям свойств цементного камня, чем прокаленной при температуре 400 $^0$С.

Добавки СЧГ, прокаленной при 400 $^0$С, обеспечивают более высокие показатели свойств цементного камня, чем прокаленные при температурах 300 $^0$С, 600 $^0$С и 800 $^0$С.

Добавки СЧГ, прокаленной при 400 $^0$С и 800 $^0$С обеспечивают более высокие показатели свойств цементного камня, чем добавки НУГ, прокаленной при этих же температурах.

Добавки НУГ, прокаленных при 600 $^0$С обеспечивают более высокие показатели свойств цементного камня, чем добавки СЧГ, прокаленной при этой же температуре.

**Заключение**

Добавки 5-20 % глинитов каолиновой и полиминеральной безкаолинитовой глины, полученные активацией при температурах 300-800 $^0$С и молотые до 250 м$^2$/кг, приводят, в большинстве случаев, к более высоким показателям свойств цементного камня по сравнению с показателями свойств цементного камня без добавок. Добавки глинитов полиминеральной безкаолинитовой глины, полученные активацией при определенных температурах, обеспечивают большее повышение показателей свойств цементного камня, чем аналогичное количество добавки глинитов каолиновой глины, полученные активацией при таких же температурах.

Эффективность влияния добавок глинитов каолиновой и полиминеральной безкаолинитовой глины на повышение свойств цементного камня не прямо пропорционально повышению их объемов от 5 до 20 % и температурам их активации от 300-800 $^0$С.

Наиболее значительное повышение показателей свойств цементного камня достигается при введении добавок глинитов каолиновой глины, полученных термоактивацией при температурах 300 и 600 $^0$С, а добавок глинитов полиминеральной безкаолинитовой глины, полученной термоактивацией при температуре 400 $^0$С. Это позволяет сделать вывод о возможности производства технически и экономически эффективных добавок в портландцемент на основе распространённого глинистого сырья при относительно невысоких энергетических затратах на их термоактивацию и помол.

## Список библиографических ссылок

1. Ramachandran V. S. Concrete Admixtures Handbook. 2nd Ed. N-Y. : William Andrew, 1999. 964 p.
2. Ludwig H. M. $CO_2$-arme Zemente furnachhaltige Betone : Jbausil / Weimar. Deutschland, 2015. Band 2. P. 7–32.
3. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р. Строительство и строительные материалы прошлого, настоящего и будущего // Строительные материалы. 2013. № 1. С. 124–128.

4. Халиуллин М. И., Нуриев М. И. Исследование влияния добавки термоактивированной Сарай-Чекурчинской глины на свойства композиционного гипсового вяжущего // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2016. № 7. С. 100–104.
5. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р. Осенний марафон строительного материаловедения // Архитектура и строительство. 2016. № 2. С. 137–141.
6. Proccedings : proc. I International Conference on Calcined Glays for Sustainable Concrete, Losanna, 2015. 597 p.
7. Taylor-Lange S. C., Lamon E. L., Riding K. A., Juenger M. C. Calcied Kaolinite-bentonite clay blends as supplementary cementations materials // Applied clay scince. 2015. Vol. 108. P. 30–36.
8. Витрувий М. Десять книг об архитектуре. М. : Архитектура-С, 2006. 326 с.
9. Значко-Яворский И. Л. Очерки истории вяжущих веществ от древнейших времён до середины XIX века. М. : АН СССР, 1963. 453 с.
10. Castello L. R., Hemandes H. J. F., Scrivener K. L., Antonic M. Evolution of calcined clay soils as supplementary cementitious materials : proc. of a XII International Congress of the chemistry of cement / Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». Madrid, 2011. P. 117.
11. Proccedings : proc. XIV International Congress on the chemistry of cement, Beijing, China, 2015. Vol. 1. 704 p.
12. Брыков А. С. Метакаолин // Цемент и его применение. 2012. № 4. С. 36–41.
13. Rashab A. M. Metakaolin as cementious material: History, scours, production and composition. A comprehensive overview // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 41. P. 303–318.
14. Горбачёв Б. Ю. Состояние и перспективы развития в Российской Федерации сырьевой базы каолина : мат. Международной научно-практической конференции «Промышленные минералы: проблемы прогноза, поисков и инновационные технологии освоения месторождений» / ЗАО «Издательский дом Казанская недвижимость». Казань, 2015. С. 111–114.
15. Tironi A., Trezza M., Scian A., Irassar E. Assessment of pozzolanic activity different calcined clay // Cement and Concrete Composites. 2013. Vol. 37. P. 319–327.
16. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р. Влияние добавок в портландцемент прокаленной и молотой глины с содержанием 40 % каолинита на прочность цементного камня // Архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 129–131.
17. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gaifullin A. R. Influence of the addition of dispersed fine polymineral calcined glay on the properties Portland cement paste // Advances in Cement Research. 2017. № 1. P. 21–32.
18. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р., Морозов В. П. Влияние добавок в портландцемент термоактивированного суглинка на свойства цементного камня // Материаловедение. 2017. № 6. С. 95–101.

**Rakhimov Ravil Zufarovich**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: rahimov@kgasu.ru
**Rakhimova Nailia Ravilevna**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: rahimova.07@list.ru
**Gaifullin Albert Rinatovich**
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: 447044@list.ru
**Bikmukhametov Artur Rustemovich**
post-graduate student
E-mail: alfbot@mail.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Morozov Vladimir Petrovich**
doctor of geologo-mineralogical sciences, professor
E-mail: vladimir.morozov@kpfu.ru
**Kazan (Volga region) Federal University**
The organization address: 420008, Russia, Kazan, Kremlevskaya st., 18

## Influence of the composition and temperature of roasting on the additives of kaolin and polymineral clays in portland cement on the properties of cement stone

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to identify the features of the effect on the properties of cement stone of adding clays of different composition and roasting temperature to Portland cement.

*Results.* This paper presents the results of studies of the influence of the composition and calcination temperature of clay additives, ground to 250 $m^2$/kg on the properties of cement stone. The most significant increase in the properties of cement stone is achieved with the introduction of additives kaolin clay, obtained by thermo-activation at temperatures of 300 and 600 °C, and the addition of polymineral clay (without kaolin) by thermo-activation at a temperature of 400 °C.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that they allow us to conclude that it is possible to produce economically and technically effective additives to Portland cement based on common clay raw materials with relatively low energy consumption for their thermal activation and grinding.

**Keywords:** portland cement, additive, clay, composition, roasting, temperature, content, strength, cement stone, average density.

### References

1. Ramachandran V. S. Concrete Admixtures Handbook. 2nd Ed. N-Y. : William Andrew, 1999. 964 p.
2. Ludwig H. M. $CO_2$-arme Zemente furnachhaltige Betone : Jbausil / Weimar. Deutschland, 2015. Band 2. P. 7–32.
3. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R. Construction and building materials of the past, present and future // Stroitelnye materialy. 2013. № 1. P. 124–128.
4. Halliulin M. I., Nuriev M. I. Research of influence of additives thermally activated Sarai-Chekurchinsky clay on properties of the composite gypsum binder // Resursoenergoeffektivnye tekhnologii v stroitelnom komplekse regiona. 2016. № 7. P. 100–104.
5. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R. Autumn marathon of building materials // Arhitektura i stroitelstvo. 2016. № 2. P. 137–141.
6. Proccedings : proc. I International Conference on Calcined Glays for Sustainable Concrete, Losanna, 2015. 597 p.
7. Taylor-Lange S. C., Lamon E. L., Riding K. A., Juenger M. C. Calcied Kaolinite-bentonite clay blends as supplementary cementations materials // Applied clay scince. 2015. Vol. 108. P. 30–36.
8. Vitruvij M. Ten books about architecture. M. : Arhitektura-S, 2006. 326 p.
9. Znachko-Yavorskij I. L. Essays on the history of binders from ancient times to the middle of the XIX century. M. : AN SSSR. 1963. 453 p.
10. Castello L. R., Hemandes H. J. F., Scrivener K. L., Antonic M. Evolution of calcined clay soils as supplementary cementitious materials : proc. of a XII International Congress of the chemistry of cement / Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». Madrid, 2011. P. 117.
11. Proccedings : proc. XIV International Congress on the chemistry of cement, Beijing, China, 2015. Vol. 1. 704 p.

12. Brykov A. S. Metakaolin // Cement i ego primenenie. 2012. № 4. P. 36–41.
13. Rashab A. M. Metakaolin as cementious material: History, scours, production and composition. A comprehensive overview // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 41. P. 303–318.
14. Gorbachyov B. Y. The state and prospects of development of the kaolin resource base in the Russian Federation : materials of the International Scientific and Practical Conference «Industrial Minerals: Problems of Forecasting, Prospecting and Innovative Technologies for the Development of Fields» / ZAO «Izdatelskij dom «Kazanskaya nedvizhimost». Kazan, 2015. P. 111–114.
15. Tironi A., Trezza M., Scian A., Irassar E. Assessment of pozzolanic activity different calcined clay // Cement and Concrete Composites. 2013. Vol. 37. P. 319–327.
16. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gajfullin A. R. The effect of additives in portland cement calcined and ground clay containing 40 % kaolinite on the strength of cement stone // Arhitektura i stroitelstvo. 2015. № 2. P. 129–131.
17. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gaifullin A. R. Influence of the addition of dispersed fine polymineral calcined glay on the properties Portland cement paste // Advances in Cement Research. 2017. № 1. P. 21–32.
18. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gajfullin A. R., Morozov V. P. The effect of additives in Portland cement thermoactivated loam on the properties of cement stone // Materialovedenie. 2017. № 6. P. 95–101.

УДК 678.643.425.033:620.193.8
**Строганов Виктор Федорович**
доктор химических наук, профессор
E-mail: svf08@mail.ru
**Сагадеев Евгений Владимирович**
доктор химических наук, профессор
E-mail: sagadeev@list.ru
**Потапова Людмила Ильинична**
кандидат химических наук, доцент
E-mail: ludmilapo@mail.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
**Мухаметзянов Марат Айдарович**
начальник производственно-технического отдела
E-mail: maratmukhametzyanov@yandex.ru
**ООО компания «Ворота»**
Адрес организации: 420033, Россия, г. Казань, ул. Богатырева, д. 7а

# Получение и исследование свойств серных бетонов на основе техногенных отходов нефтехимического и теплоэнергетического комплексов

**Аннотация**

*Постановка задачи*. Цель исследования - изготовление композиций и образцов серных бетонов, изучение их физико-химических характеристик и оценка биостойкости.

*Результаты*. Основные результаты исследования состоят в изготовлении ряда композиций серных бетонов, в определении их физико-химических характеристик и в проведении кинетических исследований по определению биостойкости серных бетонов.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что, в результате проведенных исследований, получены серные бетоны с высокими прочностными характеристиками, изучены их физико-химические свойства (плотность, водопоглощение), определена биостойкость и сделаны выводы о влиянии химического состава композиций на свойства серных бетонов и возможность их практического применения.

**Ключевые слова:** сера, кварцевый песок, золошлаковые отходы, прочность, плотность, водопоглощение, биостойкость

## Введение

Как известно, в настоящее время весьма актуальна экологическая проблема утилизации промышленных отходов. Так, например, многотоннажным отходом нефте- и газоперерабатывающего комплекса России является техническая сера. В частности, в РФ ежегодно при обессеривании добываемых нефти и газа образуется более 12 млн тонн серных отходов нефтегазового комплекса [1]. Так в Татарстане ежегодно образуется более 300 тыс. тонн серных отходов на Минибаевском газоперерабатывающем и свыше 200 тыс. тонн серы на Нижнекамском нефтеперерабатывающем заводах [2]. Также одно из первых мест по объемам среди промышленных техногенных отходов занимают золы и шлаки от сжигания на ТЭЦ твердых видов минерального топлива (каменный уголь, горючие сланцы). Например, ежегодно в России образуется около 70 млн тонн золошлаковых отходов (ЗШО) [2]. В России ЗШО являются постоянным источником загрязнения воздушного и водного бассейнов, так как занимают значительные территории (более 200 тыс. га). С учетом того, что в настоящее время более 70 % всей тепловой и электрической энергии в РФ вырабатывается на предприятиях промышленной теплоэнергетики, работающих на твердых видах топлива, рост количества ЗШО будет продолжаться, а, следовательно, будет усиливаться их отрицательное воздействие на экологию страны. Утилизация ЗШО является одной из актуальных экологических

проблем современности, так как на сегодняшний день масштабы промышленной переработки твердых отходов ТЭЦ в РФ невелики [1, 2].

Исследования последних лет [1-4] показали, что техническая сера может успешно использоваться в качестве минерального вяжущего для получения химически стойкого и сравнительно недорогого строительного материала. Известно, что сера, имея ряд положительных технологических качеств: химическую инертность, гидрофобность, относительно низкую температуру плавления 113-130 $^{o}$C, низкую вязкость расплава, а после кристаллизации - достаточную прочность, может рассматриваться как перспективный строительный материал [1-3]. В процессе взаимодействия с различными видами заполнителей серный расплав проникает в поры материала заполнителя, кристаллизуясь при последующем охлаждении. Следовательно, использование технической серы, в частности, для производства серных бетонов, не вызывает сомнения. Роль жидкой фазы в серных бетонах выполняет расплав серы, который и определяет основные реологические показатели серобетонной смеси. Высокая химическая и морозостойкость, низкие водопоглощение и теплопроводность, повышенная прочность и возможность повторного использования, способствуют расширению области применения серных бетонов в строительной отрасли [5-10]. Немаловажным преимуществом серных бетонов также является то, что при их изготовлении не используется цемент и вода для их затворения, а в качестве заполнителей используются отходы промышленного производства и, в частности, ЗШО. В этой связи целью работы является получение и изучение свойств композиций серных бетонов, в том числе их биостойкость, на основе техногенных отходов нефтехимического и теплоэнергетического комплексов.

**Объекты и методы исследований**

Для изготовления композиций серных бетонов использовались следующие материалы:

- Техническая сера - отход производства Нижнекамского нефтеперерабатывающего завода, согласно ГОСТ 127.1-93. По химическому составу отход представляет собой товарный продукт, содержащий 99,9 % серы.
- Строительный кварцевый песок согласно ГОСТ 8736-93.
- ЗШО Казанской ТЭЦ-2 согласно ГОСТ 25818-91.

Образцы композиций серных бетонов изготовлялись по так называемой «горячей» технологии, согласно которой исходные компоненты (сера, кварцевый песок и ЗШО) в заданных соотношениях перед перемешиванием предварительно подогреваются до температуры 140 ± 5 $^{o}$C. Заливка горячего расплава серобетонной смеси производится в металлические формы размером 2´ 2´ 2 мм. Застывание и кристаллизация образцов серных бетонов происходит при комнатной температуре.

Изготовлены и исследованы три варианта композиций серных бетонов двенадцати составов «сера–кварцевый песок–ЗШО» с разными процентными соотношениями компонентов. Содержание серы в образцах серных бетонов составляет 30, 40 и 50 % по массе. Так композиции № 1-4 содержат 30 % серы, композиции № 5-8 - 40 % серы, композиции 9-12 - 50 % серы. Содержание кварцевого песка и ЗШО в образцах композиций меняется в пределах от 0 до 70 %.

Плотность образцов композиций серных бетонов определяли согласно ГОСТ 12730.1-78. Водопоглощение образцов композиций серных бетонов определяли согласно ГОСТ 12730.3-78.

ИК-спектральное исследование проводилось при стандартных условиях регистрации на спектрофотометре Perkin Elmer FT-IR Spectrometer model Spectrum 65 в области 4000-650 см$^{-1}$ с помощью приставки неполного внутреннего отражения (НПВО) Miracle ATR (кристалл ZnSe). Спектры серных бетонов получали плотно прижимая фрагмент образца к поверхности элемента нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с кристаллом ZnSe.

Испытание прочности на сжатие образцов композиций серных бетонов проводилось согласно ГОСТ 10180-90 на лабораторном испытательном гидравлическом прессе ПСУ-10.

**Обсуждение результатов**

С целью идентификации химического состава серных бетонов проведено ИК-спектральное исследование образца бетона (композиция № 6). Полученный ИК-спектр серного бетона приведен на рис. 1.

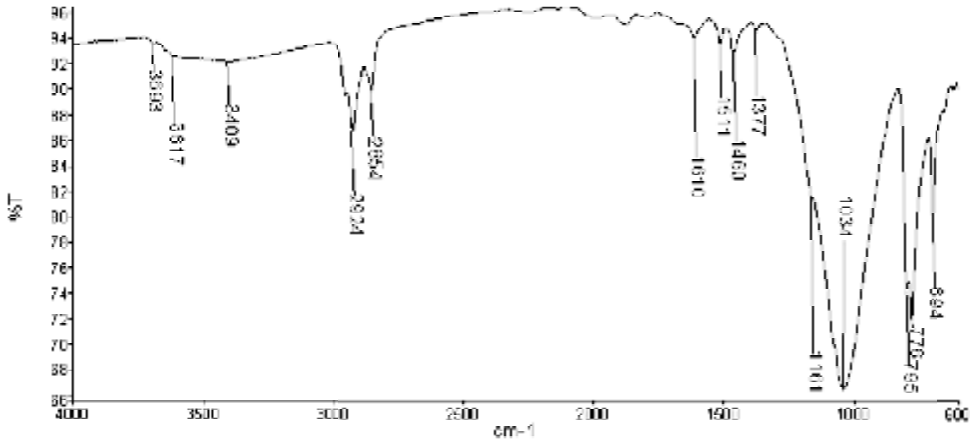



Рис. 1. ИК-спектр образца серного бетона (композиция № 6) (иллюстрация авторов)

ИК-спектрограмма серного бетона характеризуется наличием интенсивных полос поглощения в области 1000-1200 $см^{-1}$, обусловленных валентными колебаниями связей Si- O- Si [11]. Максимум поглощения на частоте 795 $см^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям связи Si–O кварцевого песка. Валентным колебаниям смешанных комбинаций химических связей Al–O и Ca–O соответствуют полосы поглощения в ИК-спектре в области 600-800 $см^{-1}$, что весьма характерно для, входящих в состав ЗШО, смесей моно-, диалюминатов кальция и оксида алюминия. Деформационным колебаниям связанных гидроксильных ОН-групп на ИК-спектре соответствуют полосы поглощения 3693 $см^{-1}$, 3617 $см^{-1}$, 3409 $см^{-1}$, что свидетельствует о наличии органических примесей в технической сере (отход производства Нижнекамского нефтеперерабатывающего завода). Этим же обстоятельством, по-видимому, объясняется наличие на спектрограмме бетона полос поглощения средней интенсивности с максимумами 2953-2855 $см^{-1}$, соответствующих валентным колебаниям $CH_2$- и $CH_3$-групп. Полосы поглощения средней интенсивности с максимумами 1460 $см^{-1}$ и 1377 $см^{-1}$ соответствуют деформационным колебаниям этих же углеродных групп.

Как следует из данных [11], полосы поглощения в области 1210-1150 $см^{-1}$ и 1060-1030 $см^{-1}$ соответствуют валентным колебаниям связи S–O окисленной серы. Однако, как показано выше, на ИК-спектре эти полосы поглощения полностью перекрываются полосами валентных колебаний связей Si- O- Si кварцевого песка.

Из анализа выше представленного ИК-спектра образца серного бетона (рис. 1), следует, что его химический состав включает серу с органическими примесями, кварцевый песок и ЗШО.

Далее, с целью изучения физико-химических характеристик серных бетонов, определена прочность на сжатие образцов композиций и построены зависимости изменения прочности на сжатие серных бетонов от содержания ЗШО в образцах (рис. 2).

Как следует из полученных данных (рис. 2), композиции серного бетона, содержащие как кварцевый песок, так и ЗШО, имеют более высокие прочностные характеристики по сравнению с композициями, содержащими только один из видов заполнителя. Как показывают результаты изменения прочности на сжатие серных бетонов, оптимальное содержание технической серы в композициях, необходимое для получения бетонов с высокими прочностными характеристиками, составляет 40 % (по массе), содержание в композициях серы в количестве 50 % и 30 % не позволяет получить серные бетоны с необходимыми для строительных материалов прочностными свойствами. Согласно литературным данным [3], содержание серы в бетонах обычно не превышает 30 %.

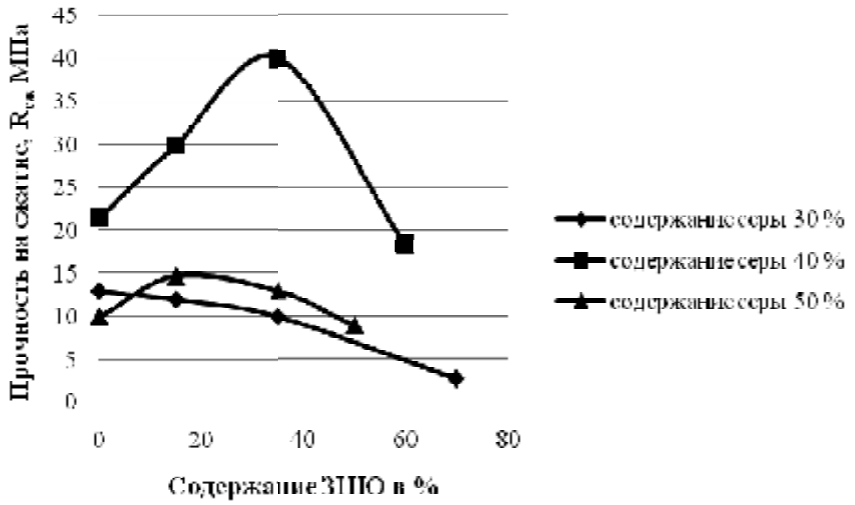



Рис. 2. Зависимость изменения прочности на сжатие серных бетонов (композиции № 1-4, 5-8, 9-12) от содержания ЗШО в образцах (иллюстрация авторов)

На основании проведенного анализа полученных экспериментальных данных установлено, что среди изученных композиций серных бетонов максимальными прочностными характеристиками обладают эмпирически подобранные композиция № 6 (прочность на сжатие, $R_{сж}$ = 30 МПа) и композиция № 7 (прочность на сжатие, $R_{сж}$ = 40 МПа). Следует отметить, что композиция № 6 серных бетонов содержит в своем составе 45 % песка и 15 % ЗШО (рис. 2). Наиболее оптимальная, с точки зрения прочностных характеристик, композиция № 7 содержит в своем составе 25 % песка и 35 % ЗШО (рис. 2). При дальнейшем увеличении в составе серобетонной смеси содержания, как кварцевого песка, так и ЗШО, прочность образцов бетонов снижается. Как известно, основным преимуществом использования в серных бетонах в качестве заполнителей кварцевого песка и ЗШО является то, что при добавлении ЗШО (обладающих большой дисперсностью) к песку, имеющему более крупные зерна, происходит распределение мелких зерен ЗШО между крупными зернами песка, что обеспечивает более полное уплотнение смеси. В результате введения в смесь расплава серы, он проникает в оставшиеся пустоты и серобетонная смесь приобретает более упорядоченную структуру.

Следует отметить, что прочностные характеристики на сжатие образцов композиций № 6 и 7 серных бетонов сопоставимы с аналогичными значениями для цементно-песчаных растворов, полученных на основе портландцементов М 400 и М 500 [12].

С увеличением содержания ЗШО в составе серобетонной смеси, прочность на сжатие бетонов начинает резко снижаться. Так композиция № 4, содержащая в своем составе 70 % ЗШО и 0 % песка, имеет минимальную прочность на сжатие в изученном ряду равную $R_{сж}$ = 3 МПа, а композиция № 12, содержащая в своем составе 50 % ЗШО и 0 % песка, имеет сравнительно низкую прочность на сжатие $R_{сж}$ = 9 МПа (рис. 2). Эти закономерности, по-видимому, можно объяснить увеличением пористости образцов из-за введения большого количества заполнителя с высокой степенью дисперсности, что обуславливает резкое понижение прочности серных бетонов.

Аналогичная ситуация со снижением прочности серных образцов наблюдается и при увеличении содержания кварцевого песка в составе серобетонной смеси. Так, композиция № 1, содержащая в своем составе 70 % песка и 0 % ЗШО, также имеет низкую прочность на сжатие $R_{сж}$ = 13 МПа, а композиция № 9, содержащая в своем составе 50 % песка и 0 % ЗШО, имеет сравнительно низкую прочность на сжатие $R_{сж}$ = 10 МПа (рис. 2). Эти зависимости, по-видимому, можно объяснить увеличением содержания крупнодисперсного заполнителя в серобетонной смеси, наличием пустот в структуре материала, и, как следствие, снижением плотности, а, следовательно, прочности образцов бетона.

Далее определена плотность образцов композиций серных бетонов. Сравнительные данные по результатам изменения плотности серных бетонов от содержания ЗШО приведены на рис. 3.

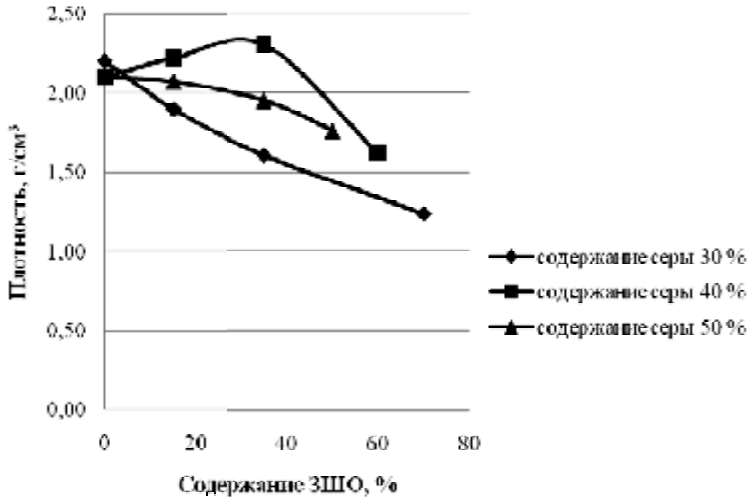



Рис. 3. Зависимость изменения плотности серных бетонов (композиции № 1-4, 5-8, 9-12) от содержания ЗШО в образцах (иллюстрация авторов)

На основании анализа полученных экспериментальных данных наблюдаются закономерности, аналогичные отмеченным выше. Так композиции № 6-7 серных бетонов с максимальными прочностными характеристиками на сжатие, имеют самую высокую плотность в изученном ряду - 2,22 и 2,31 г/см$^3$, соответственно (рис. 3). Композиции бетонов с низкими прочностными характеристиками на сжатие (с максимальным содержанием ЗШО), имеют, соответственно, самые низкие значения плотности в изученном ряду:

- композиция № 4 (состав: 0 % песка и 70 % ЗШО) - 1,24 г/см$^3$;
- композиция № 8 (состав: 0 % песка и 60 % ЗШО - 1,62 г/см$^3$;
- композиция № 12 (состав: 0 % песка и 50 % ЗШО) - 1,76 г/см$^3$.

Следует обратить внимание на то, что, наблюдаемые на рис. 3, значения повышенной плотности композиций № 1, 5 и 9 (без содержания в составе ЗШО) связаны, по-видимому, с тем, что в этих бетонах пустоты между крупными зернами песка заполняются расплавом серы. Однако, ввиду образования при застывании расплава крупных кристаллов серы, имеющей высокую хрупкость, это не приводит к образованию прочных адгезионных связей между серой и кварцевым песком, что, в свою очередь, не повышает прочность образцов бетона.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что варьирование процентного содержания серы в композициях практически не влияет на плотность полученных бетонов.

Далее определено водопоглощение образцов композиций серных бетонов. Сравнительные данные по результатам изменения водопоглощения серных бетонов от содержания ЗШО приведены на рис. 4.

Полученные экспериментальные данные аналогичны вышеотмеченным зависимостям. Так композиции № 6-7 серных бетонов имеют максимальные прочностные характеристики на сжатие и самые низкие значения водопоглощения в изученном ряду - 0,7 и 0,63 %, соответственно (рис. 4).

Композиции с низкими прочностными характеристиками (с максимальными содержанием песка или ЗШО), соответственно, имеют и более высокие значения водопоглощения в изученном ряду:

- композиция № 1 (состав: 70 % песка и 0 % ЗШО) - 1,60 %;
- композиция № 4 (состав: 0 % песка и 70 % ЗШО) - 19,66 %;
- композиция № 8 (состав: 0 % песка и 60 % ЗШО - 3,43 %;
- композиция № 9 (состав: 50 % песка и 0 % ЗШО) - 1,84 %.

Анализируя экспериментальные данные, можно сделать вывод, что композиция № 4, имеющая минимальную прочность на сжатие, характеризуется наиболее высоким значением водопоглощения.

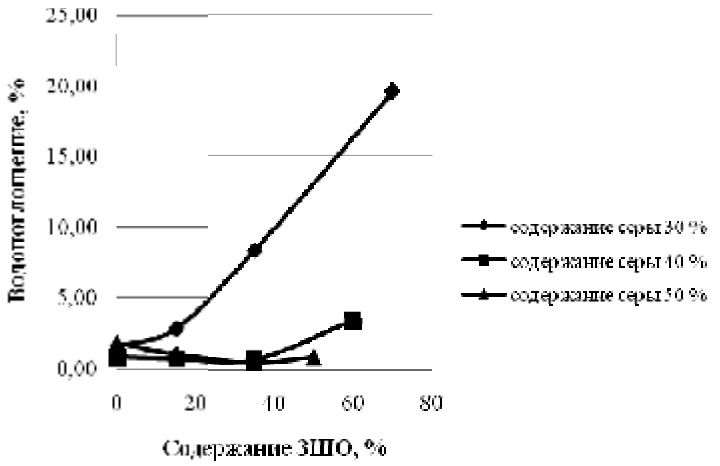



Рис. 4. Зависимость изменения водопоглощения серных бетонов (композиции № 1-4, 5-8, 9-12) от содержания ЗШО в образцах на шестые сутки проведения испытаний (иллюстрация авторов)

Таким образом, следует, что увеличение содержания ЗШО в композициях серных бетонов приводит к резкому увеличению их водопоглощения. Это обстоятельство, по-видимому, можно объяснить увеличением пористости образцов бетонов из-за введения большого количества заполнителя с высокой степенью дисперсности.

Далее, в продолжение ранее начатых исследований [12, 13], моделировался процесс биоповреждения композиций серных бетонов в слабоагрессивной среде лимонной кислоты с pH = 3 (рекомендуемое в литературе значение для карбоновых кислот [12]) в течение восьми суток при температуре 40 °С. Изучение биостойкости образцов цементно-песчаных растворов (ЦПР) проводилось в лабораторной кинетической установке [14].

Полученные результаты кинетических исследований для композиций серных бетонов представлены на рис. 5.

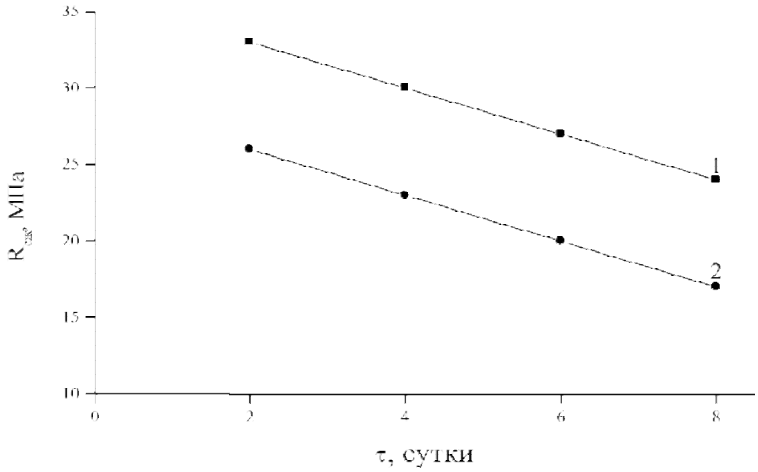



Рис. 5. Зависимость прочностных характеристик на сжатие образцов серных бетонов от времени экспозиции в модельной среде:
1 – композиция № 7; 2 – композиция № 6 (иллюстрация авторов)

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что в процессе экспозиции образцов композиций серных бетонов в модельной среде наблюдается падение их прочностных характеристик на сжатие. Зависимости $R_{сж}=f(t)$ имеют линейный характер. Коэффициент корреляции $r$ кинетических зависимостей имеет значение не менее 0,999, а стандартное отклонение $S_d$ равно 0,01 и менее.

Результат взаимодействия образцов композиций серных бетонов с лимонной кислотой количественно представлен в таблице.

Таблица

**Результаты потери прочности на сжатие серных бетонов после экспозиции в модельной среде при температуре 40 °С в течение 8 суток**

| Серный бетон | Потеря прочности $DR_{сж}$, % |
|---|---|
| Композиция № 7 | 40,0 |
| Композиция № 6 | 43,3 |

Как следует из экспериментальных данных, приведенных в таблице, биостойкость образцов композиции № 7 серных бетонов является максимальной. Следует отметить, что полученные результаты для серных бетонов сопоставимы с результатами для цементно-песчаных растворов (полученных на основе портландцементов М 400 и М 500), испытанных в тех же условиях [12].

**Заключение**

На основании анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Для получения серных бетонов с максимальными прочностными характеристиками, необходимо иметь в составе композиций компоненты: серу и два наполнителя с различной степенью дисперсности - кварцевый песок и золошлаковые отходы. Серные бетоны, в состав композиций которых входят только сера и золошлаковые отходы или сера и кварцевый песок, не обладают, необходимыми для бетонов, прочностными характеристиками.

2. Оптимальное содержание серы в композициях серных бетонов, необходимое для получения бетонов с максимальными прочностными характеристиками, должно составлять 40 % (по массе).

3. С увеличением содержания в составе серобетонной смеси золошлаковых отходов или кварцевого песка прочность образцов начинает резко снижаться. Среди изученных двенадцати композиций серных бетонов максимальными прочностными характеристиками обладают эмпирически подобранные композиция № 6 (прочность на сжатие, $R_{сж}$ = 30 МПа) и композиция № 7 (прочность на сжатие, $R_{сж}$ = 40 МПа).

4. Композиции № 6-7 серных бетонов с максимальными прочностными характеристиками на сжатие имеют наибольшую плотность образцов и наименьшее водопоглощение, что свидетельствует об их оптимальном составе и структуре.

5. Увеличение содержания золошлаковых отходов в составе серных бетонов приводит к резкому увеличению их водопоглощения. Это обстоятельство, по-видимому, можно объяснить увеличением пористости образцов из-за введения большого количества наполнителя с высокой степенью дисперсности.

6. Биостойкость серных бетонов в модельной среде лимонной кислоты сопоставима с аналогичными значениями для цементно-песчаных растворов, испытанных в тех же условиях.

7. Согласно Предварительному Национальному Стандарту 105-2016 [15], разработанные композиции № 1-3, 5-7, 9 и 10 можно отнести к серобетонным смесям средней плотности (от 1,8 до 2,8 г/см$^3$) для тяжелого серобетона.

## Список библиографических ссылок

1. Медведева Г. А., Ахметова Р. Т., Юсупова А. А. Утилизация золошлаковых отходов ТЭЦ при изготовлении серных бетонов в присутствии хлорида фосфора // Современные наукоемкие технологии. Технические Науки. 2018. № 11. С. 43–47.
2. Ахметова Р. Т., Медведева Г. А., Строганов В. Ф., Махиянова Л. Р., Ахметова А. Ю. Влияние активирующих добавок хлоридов металлов в пропиточных технологиях при утилизации отходов теплоэнергетики // Фундаментальные исследования. 2014. № 11. С. 739- 743.
3. Усов Б. А. Технология и применение серных бетонов // Системные технологии. 2015. № 17. С. 56–69.

4. Фомин А. Ю., Хозин В. Г. Новые серосодержащие материалы для дорожного строительства // Строительные материалы. 2016. № 12. С. 80–82.
5. Королев Е. В., Прошин А. П., Ерофеев В. Т., Хрулев В. М., Горетый В. В. Строительные материалы на основе серы. Пенза-Саранск : МорГУ, 2003. 372 с.
6. Ciak N., Harasymiuk J. Sulphur concrete's technology and its application to the building industry // Technical Sciences. 2013. V. 16. № 4. P. 323–331.
7. Lee S., Hong K., Park J., Ko J. Influence of aggregate coated with modified sulfur on the properties of cement concrete // Materials. 2014. V. 7. № 6. P. 4739–4754.
8. Khademi A. Gh., Sar H. I. K. Comparison of sulfur concrete, cement concrete and cement-sulfur concrete and their properties and application // Current World Environment. 2015. V. 10. Special Issue 1. P. 201–207.
9. Yusupova A., Akhmetova R., Treshchev A., Shafigullin L., Lakhno A., Bobrishev A. Sulfur composite technology from oil refinery waste // International journal of applied engineering research. 2016. V. 11. № 5. P. 3057–3061.
10. Moon J., Kalb P. D., Milian L., Northrup P. A. Characterization of a sustainable sulfur polymer concrete using activated fillers // Cement and Concrete Composites. 2016. V. 67. P. 20–29.
11. Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул. М. : Изд-во Иностранной литературы, 1963. 592 с.
12. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Введение в биоповреждение строительных материалов. Казань : КГАСУ, 2014. 200 с.
13. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Биоповреждение строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 5–9.
14. Лабораторная установка для испытания образцов строительных материалов на биостойкость в модельных средах : пат. № 170410 Рос. Федерация. № 2016123279 ; заявл. 10.06.2016 ; опубл. 24.04.2017. Бюл. № 12. 1 с.
15. Предварительный Национальный Стандарт 105-2016. Смеси серобетонные и серобетон. Технические условия. М. : Стандартинформ. 2016. 16 с.

**Stroganov Viktor Fedorovich**
doctor of chemical sciences, professor
E-mail: svf08@mail.ru
**Sagadeev Evgeniy Vladimirovich**
doctor of chemical sciences, professor
E-mail: sagadeev@list.ru
**Potapova Ludmila Ilinichna**
candidate of chemical science, associate professor
E-mail: ludmilapo@mail.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Muhametz'anov Marat Aydarovich**
head of production and technical department
E-mail: maratmukhametzyanov@yandex.ru
**LLC Company «Vorota»**
The organization address: 420033, Russia, Kazan, Bogatyreva st., 7a

## Obtaining and researching the properties of sulfur concrete based on technogenic wastes of the petrochemical and heat power complexes

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study was the manufacture of compositions and samples of sulfur concrete, the study of their physico-chemical characteristics and the assessment of biostability.

*Results.* The main results of the study consist in the manufacture of a number of sulfur concrete compositions, the determination of their physicochemical characteristics, and the conduct of kinetic studies to determine the biostability of sulfur concrete.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry lies in the fact that, as a result of the studies, sulfur concretes with high strength characteristics were obtained, their physicochemical properties (density, water absorption) were studied, biostability was determined, and conclusions were drawn about the effect of the chemical composition of the compositions on the properties of sulfur concretes and the possibility of their practical application.

**Keywords:** sulfur, quartz sand, ash and slag waste, strength, density, water absorption, biostability.

## References

1. Medvedeva G. A., Akhmetova R. T., Yusupova A. A. Influence of activating metal chloride additives in impregnating technology of heat power wastes recycling // Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii. Tekhnicheskiye Nauki. 2018. № 11. P. 43–47.
2. Akhmetova R. T., Medvedeva G. A., Stroganov V. F., Makhiyanova L. R., Akhmetova A. Y. Influence of activating metal chloride additives in impregnating technology of heat power wastes recycling // Fundamental'nyye issledovaniya. 2014. № 11. P. 739- 743.
3. Usov B. A. Technology and application of sulfur concrete // Sistemnyye tekhnologii. 2015. № 17. P. 56–69.
4. Fomin A. Yu., Khozin V. G. New sulfur-containing materials for road construction // Stroitel'nye Materialy. 2016. № 12. P. 80–82.
5. Korolev E. V., Proshin A. P., Erofeev V. T., Khrulev V. M., Gorety V. V. Building materials based on sulfur. Penza-Saransk : MorGU, 2003. 372 p.
6. Ciak N., Harasymiuk J. Sulphur concrete's technology and its application to the building industry // Technical Sciences. 2013. V. 16. № 4. P. 323–331.
7. Lee S., Hong K., Park J., Ko J. Influence of aggregate coated with modified sulfur on the properties of cement concrete // Materials. 2014. V. 7. № 6. P. 4739–4754.
8. Khademi A. Gh., Sar H. I. K. Comparison of sulfur concrete, cement concrete and cement-sulfur concrete and their properties and application // Current World Environment. 2015. V. 10. Special Issue 1. P. 201–207.
9. Yusupova A., Akhmetova R., Treshchev A., Shafigullin L., Lakhno A., Bobrishev A. Sulfur composite technology from oil refinery waste // International journal of applied engineering research. 2016. V. 11. № 5. P. 3057–3061.
10. Moon J., Kalb P. D., Milian L., Northrup P. A. Characterization of a sustainable sulfur polymer concrete using activated fillers // Cement and Concrete Composites. 2016. V. 67. P. 20–29.
11. Bellamy L. J. New data on IR-spectra of complex molecules. M. : Izd-vo Inostrannoy literatury. 1963. 592 p.
12. Stroganov V. F., Sagadeev E. V. Introduction to the biodeterioration of construction materials: monograph. Kazan : KGASU, 2014. 200 p.
13. Stroganov V. F., Sagadeev E. V. Biodeterioration of construction materials // Stroitel'nye materialy. 2015. № 5. P. 5–9.
14. The laboratory setup for testing samples of construction materials on the biostability in modeling mediums : patent № 170410 of the Rus. Federation. № 2016123279 ; decl. 10.06.2016 ; publ : 24.04.2017. Bull. № 12. 1 p.
15. Provisional National Standard 105-2016. Mixtures of sulfur concrete and sulfur concrete. Technical conditions M. : Standartinform. 2016. 16 p.

УДК 691.335: 666.952
**Халиуллин Марат Ильсурович**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: khaliullin@kgasu.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
**Файзрахманов Ильдар Идрисович**
главный инженер проекта
E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com
**ООО «Земельная агропромышленная корпорация»**
Адрес организации: 119435, Россия, г. Москва, Савиновская наб., д. 23, стр. 1

# Влияние пластифицирующей добавки на состав композиционного гипсового вяжущего с применением термоактивированной глины

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью настоящей работы явилось исследование влияния способов предварительной подготовки термоактивированной глины, являющейся пуццолановым компонентом при получении водостойких композиционных гипсовых вяжущих, а также эффекта механохимической активации, реализуемого при совместном помоле с добавкой пластификатора, на пуццоланическую активность и изменение необходимого количества пуццоланового компонента в составе композиционных гипсовых вяжущих.

*Результаты*. Установлено, что необходимое количество пуццоланового компонента в составе гипсоцемнтнопуццолановой композиции – термоактивированной глины при её помоле до удельных поверхностей 200-500 м$^2$/кг совместно с добавкой пластификатора Melflux 2651 F уменьшается на 20-25 % по сравнению с применением термоактивированной глины, размолотой без введения пластификатора. Определено оптимальное количество пластификатора Melflux 2651 F, вводимого при помоле с термоактивированной глиной.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что применение в технологии получения композиционных гипсовых вяжущих помола термоактивированной глины до определенной дисперсности при введении добавки пластификатора за счет эффекта механохимической активации позволяет сокращать расход пуццоланового компонента в составе вяжущих или энергозатраты на помол.

**Ключевые слова:** пластифицирующие добавки, композиционное гипсовое вяжущее, гипсоцементнопуццолановая композиция, термоактивированная глина, водостойкость, механохимическая активация.

## Введение

Гипсовые строительные материалы и изделия отличаются малой энергоемкостью и экономичностью в производстве, высокой экологичностью, широкой сырьевой базой. Недостатком традиционных гипсовых строительных материалов является низкая водостойкость и прочность, что ограничивает номенклатуру и области их применения.

В последнее десятилетие получили развитие разработки по исследованию влияния на свойства гипсовых композиций добавок пластификаторов на основе лигносульфонатов и их модифицированных разновидностей, сульфированных нафталин- и меламиноформальдегидных соединений и комплексов на их основе, суперпластификатора С-3 на базе продуктов поликонденсации нафталиносульфокислоты и формальдегида, на основе поликарбоксилатов [1-4]. Введение пластифицирующих добавок позволяет повысить плотность, прочность и водостойкость затвердевших композиций на базе гипсовых вяжущих. На основе проведенных исследований в развитие, ранее предложенных А.В. Волженским, А.В. Ферронской и другими учеными, принципов получения гипсоцементнопуццолановых вяжущих (ГЦПВ) были разработаны

водостойкие композиционные гипсовые вяжущие (КГВ) высокой прочности. КГВ получают смешиванием гипсового вяжущего с комплексом модифицирующих компонентов. В состав КГВ вводят портландцемент или известь, пуццоланически активные тонкодисперсные кремнеземсодержащие материалы (например, микрокремнезем, цеолитсодержащие породы, шлаки, зола, кварцевый песок, стеклобой, кирпич или керамический порошок, керамзитовая пыль и др.), пластификаторы, а также могут вводиться минеральные наполнители и другие функциональные добавки в определенном соотношении [5-7].

Эффективными и доступными пуццолановыми добавками для получения КГВ являются молотые термоактивированные глины (ТАГ), в том числе крупонтоннажный отход стройиндустрии – керамзитовая пыль [8]. При этом организация технологического процесса получения КГВ с применением в качестве пуццоланового компонента ТАГ может предусматривать следующие способы (рис. 1):

– смешение с другими отдозированными компонентами КГВ, включая добавку пластификатора в порошкообразном агрегатном состоянии, ТАГ, предварительно отдельно размолотой до требуемой степени дисперсности;

– смешение с другими компонентами КГВ ТАГ, предварительно размолотой до требуемой степени дисперсности совместно с отдозированной, в принятом для получения вяжущего, количестве добавкой пластификатора в порошкообразном агрегатном состоянии.

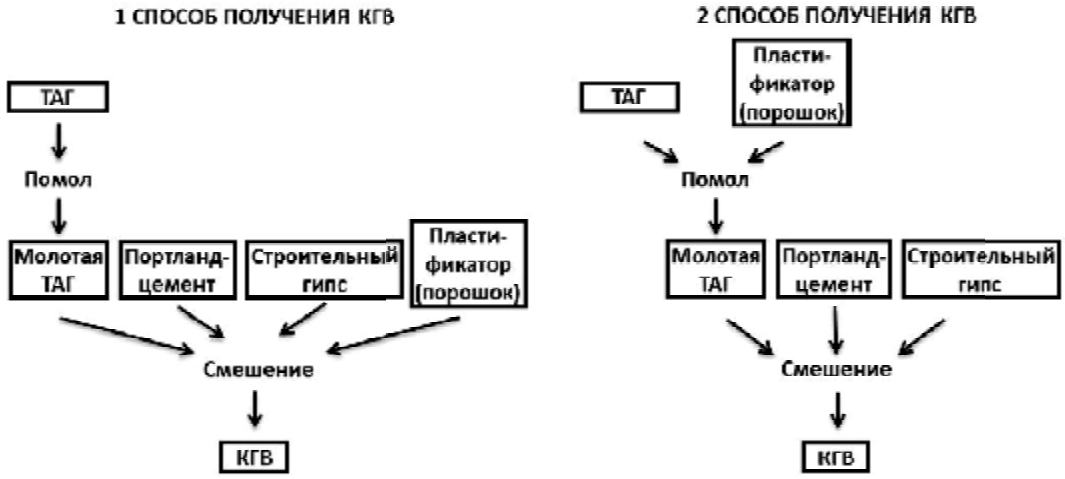



Рис. 1. Варианты способов организация технологического процесса получения КГВ (иллюстрация авторов)

Целью настоящей работы явилась оценка влияния способов предварительной подготовки ТАГ для получения КГВ с помолом до достижения определенной дисперсности без введения и при введении пластификатора в процессе помола, а также эффекта механохимической активации, реализуемого при совместном помоле с добавкой пластификатора, на пуццоланическую активность и, соответственно, изменение необходимого количества пуццоланового компонента в составе КГВ.

**Материалы и методы**

В качестве пуццоланового компонента в составе ГЦП композиции КГВ использовалась ТАГ Сарай-Чекурчинского месторождения, обожженная в течение 4 часов при T=400 $^0$C.

Количественный химический состав исходной глины определялся с использованием ARL OPTYMX – спектрометра.

Химический состав глины включает: $SiO_2$ – 68,52; $Al_2O_3$ – 13,42; $Fe_2O_3$ – 6,18; $TiO_2$ – 0,86; MnO – 0,10; CaO – 1,33; MgO – 1,66;$Na_2O$ – 1,20; $K_2O$ – 1,82; $P_2O_5$ – 0,99; $SO_3$/S < 0,05; п.п.п. – 4,62; $H_2O$ – 3,41 (все в % по массе).

Для определения минерального состава исходной глины проводился рентгенофазовый анализ с использованием дифрактометра D8 Advance (Breeker).

Минеральный состав глины включает: кварц – 28, слюда – 10, ортоклаз – 7, плагиоклаз – 8, смешанно-слоистый глинистый минерал, хлорид – 1 (все в % по массе). Смешанно-слоистый минерал содержит до 40 % неразбухающих слоев.

Гранулометрический состав включает: глинистые частицы – 49,5; пылеватые частицы – 37,1; песчаные частицы – 13,4 (содержание фракций в % по массе).

ТАГ подвергалась помолу в лабораторной планетарной мельнице до достижения удельных поверхностей 200, 350 и 500 $м^2$/кг.

Для получения ГЦП композиции вместе с ТАГ использовались строительный гипс марки Г-5БII по ГОСТ 125 производства Волгоградского гипсового завода корпорации «Волма» и портландцемент производства АО «Мордовцемент» 500-Д0-Н по ГОСТ 10178.

Для проведения исследований использовалась добавка пластификатора Melflux 2651 F на поликарбоксилатной основе в порошкобразном состоянии (производитель BASF Constraction Polymers).

Определение необходимого количества ТАГ в составе ГЦП композиции осуществлялось по методике, разработанной в МИСИ им. В.В. Куйбышева.

Испытания КГВ выполнялись по ГОСТ 23789. После изготовления образцы искусственного камня 28 суток хранились в камере нормального твердения и, перед проведением испытаний, подвергались сушке при 55 $^0$С до постоянной массы. Коэффициент размягчения определялся по ТУ 21-0284757.

**Результаты и обсуждение результатов**

На первом этапе работы было исследовано влияние количества, вводимой в состав ГЦП композиции, добавки пластификатора Melflux 2651 F на изменение показателей основных физико-механических свойств получаемого КГВ и искусственного камня на его основе (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние количества добавки пластификатора Melflux 2651 F на основные физико-механических свойств КГВ**

| № составов | Количество добавки, % | Нормальная густота, % | Средняя плотность, кг/$м^3$ | Предел прочности при сжатии, МПа | Водопоглощение, % | Коэффициент размягчения |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 51 | 1380 | 19,2 | 24,5 | 0,72 |
| 2 | 0,25 | 36 | 1572 | 32,9 | 15,0 | 0,81 |
| 3 | 0,5 | 27 | 1858 | 41,0 | 9,9 | 0,86 |
| 4 | 0,75 | 26 | 1995 | 47,2 | 8,9 | 0,91 |
| 5 | 1 | 25 | 2016 | 47,5 | 8,4 | 0,92 |

Согласно результатам исследований, представленных в табл. 1, оптимальное количество добавки пластификатора Melflux 2651 F, вводимой в состав ГЦП композиции, составляет 0,5-0,75 % по массе. Введение оптимального количества добавки пластификатора, по сравнению с контрольным составом без введения пластификатора, позволяет снизить нормальную густоту ГЦП композиции на 24-25 %, обеспечивая в процессе твердения формирование искусственного камня с более плотной структурой, отличающегося повышением средней плотности на 35-45 % и снижением водопоглощения на 14,6-15,6 %, увеличением прочности при сжатии в 2,1-2,5 раза, коэффициента размягчения с 0,72 (гипсовые вяжущие повышенной водостойкости) до 0,86-0,91 (водостойкие гипсовые вяжущие). При увеличении содержания добавки пластификатора в составе ГЦП композиции от 0,75 до 1 % происходит дальнейшее незначительное повышение показателей основных физико-механических свойств КГВ.

На втором этапе работы исследовано влияние способов предварительной подготовки ТАГ для получения КГВ, заключавшихся в помоле ТАГ, до достижения определенной дисперсности без введения и при введении добавки пластификатора Melflux 2651 F в процессе помола на изменение необходимого количества пуццолановой добавки в составе ГЦП композиции (рис. 2-4).

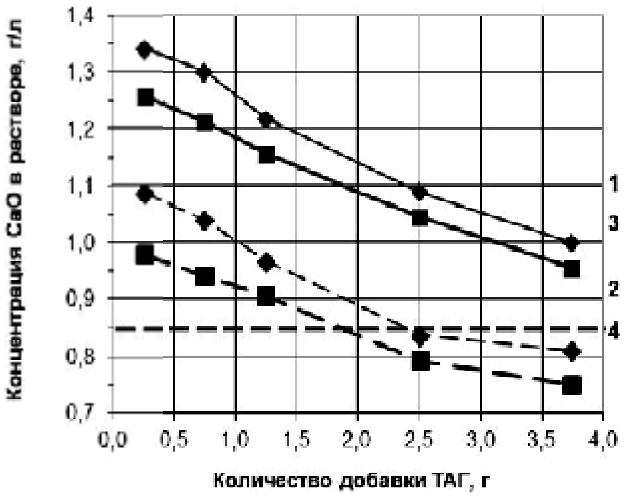



Рис. 2. Кинетика поглощения CaO добавкой ТАГ при удельной поверхности 150 м$^2$/кг. Концентрация CaO в растворе препаратов: 1, 3 – в возрасте 5 суток; 2, 4 – в возрасте 7 суток. Способ предварительной подготовки ТАГ: 1, 2 – с помолом без введения пластификатора; 2, 3 – с помолом при введении пластификатора (иллюстрация авторов)

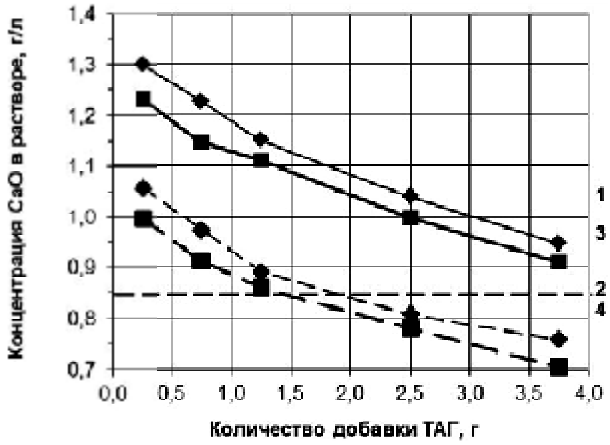



Рис. 3. Кинетика поглощения CaO добавкой ТАГ при удельной поверхности 300 м$^2$/кг. Концентрация CaO в растворе препаратов: 1, 3 – в возрасте 5 суток; 2, 4 – в возрасте 7 суток. Способ предварительной подготовки ТАГ: 1, 2 – с помолом без введения пластификатора; 2, 3 – с помолом при введении пластификатора (иллюстрация авторов)

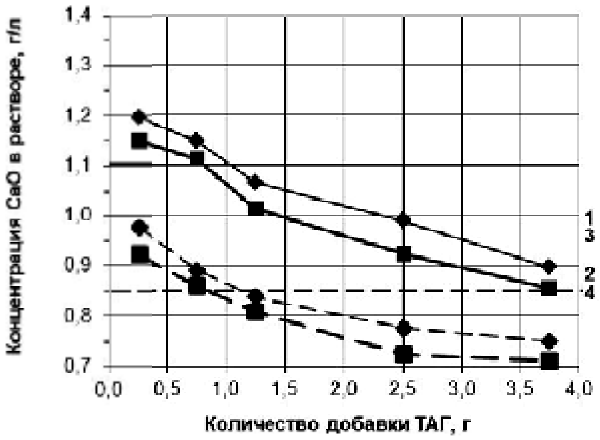



Рис. 4. Кинетика поглощения CaO добавкой ТАГ при удельной поверхности 500 м$^2$/кг. Концентрация CaO в растворе препаратов: 1, 3 – в возрасте 5 суток; 2, 4 – в возрасте 7 суток. Способ предварительной подготовки ТАГ: 1, 2 – с помолом без введения пластификатора; 2, 3 – с помолом при введении пластификатора (иллюстрация авторов)

При индивидуальном помоле ТАГ, добавка пластификатора Melflux 2651 F вводилась в исследуемую составе ГЦП композицию при смешении компонентов. Для обоих вариантов на основании результатов вышеприведенных исследований вводилось оптимальное количество добавки пластификатора, составляющее 0,75 % от массы ГЦП композиции.

В результате проведенных исследований, результаты которых показаны на рис. 2-4, определены необходимые количества ТАГ в составе ГЦП композиции в зависимости от способа предварительной подготовки ТАГ для получения КГВ и достигнутой в процессе помола удельной поверхности пуццоланового компонента (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние способа предварительной подготовки ТАГ для получения КГВ на изменение необходимого количества пуццолановой добавки в составе ГЦП композиции**

| Удельная поверхность ТАГ, $м^2/кг$ | Необходимое количество ТАГ, % от массы портландцемента в зависимости от способа предварительной подготовки ТАГ для получения КГВ | |
|---|---|---|
| | с помолом без введения пластификатора | с помолом при введении пластификатора |
| 200 | 100 | 80 |
| 350 | 80 | 60 |
| 500 | 50 | 40 |
| 800 | 30 | - |

Согласно результатам исследований, представленным в табл. 2, необходимое количество ТАГ в составе ГЦП композиции при ее помоле до удельных поверхностей 200-500 $м^2/кг$ совместно с добавкой пластификатора уменьшается на 20-25 % по сравнению с применением ТАГ, размолотой без введения пластификатора. Это позволяет сокращать расход пуццоланового компонента в составе КГВ или энергозатраты на помол.

Увеличение пуццоланической активности ТАГ при помоле совместно с добавкой пластификатора, по аналогии с процессами, происходящими при получении вяжущих низкой водопотребности, вероятно, объясняется проявлением эффекта механохимической активации, способностью пластификатора, капсулированного на поверхности частиц молотого пуццоланового компонента, предотвращать их агрегирование и повышать равномерность их распределения в тесте при затворении КГВ водой [9, 10].

**Заключение**

При получении КГВ на основе ГЦП композиции с ТАГ в качестве пуццоланового компонента, более эффективным по сравнению со смешением предварительно подготовленных компонентов КГВ, является введение в состав КГВ ТАГ, размолотой совместно с пластифицирующей добавкой до требуемой удельной поверхности.

Необходимое количество пуццоланового компонента – ТАГ в составе ГЦП композиции, при помоле ТАГ до удельных поверхностей 200-500 $м^2/кг$ совместно с добавкой пластификатора Melflux 2651 F уменьшается на 20-25 % по сравнению с применением ТАГ, размолотой без введения пластификатора. Это позволяет сокращать расход пуццоланового компонента в составе КГВ или энергозатраты на помол.

Увеличение пуццоланической активности ТАГ при помоле совместно с добавкой пластификатора может объясняться проявлением эффекта механохимической активации, а также способностью добавки пластификатора, капсулированного на поверхности частиц молотого пуццоланового компонента, предотвращать их агрегирование и повышать равномерность их распределения в тесте вяжущего.

Оптимальное количество пластификатора Melflux 2651 F при совместном помоле с ТАГ составляет 0,5-0,75 % от массы ГЦП композиции, При этом достигается пластифицирующий эффект со снижением водопотребности КГВ на 24-25 %, повышение плотности затвердевшего искусственного камня на его основе на 35-45 %, снижение водопоглощения на 14,6-15,6 %, увеличение прочности при сжатии в 2,1-2,5 раза, коэффициент размягчения до 0,86-0,91 и соответствующего показателям водостойких гипсовых вяжущих.

**Список библиографических ссылок**

1. Петропавловская В. Б., Завадько М. Ю., Петропавловский К. С., Новиченкова Т. Б., Бурьянов А. Ф. Применение пластификаторов в модифицированных гипсовых композитах // Строительные материалы. 2019. № 1-2. С. 28–35.
2. Ибрагимов Р. А., Королев Е. В., Дебердеев Т. Р. Влияние пластификаторов на свойства гипсовых вяжущих, активированных в аппаратах вихревого слоя // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. С. 293–300.
3. Морозова Н. Н., Кузнецова Г. В., Майсурадзе Н. В., Ахтариев Р. Р., Абдрашитова Л. Р., Низамутдинова Э. Р. Исследование активности пуццоланового компонента и суперпластификатора для гипсоцементно-пуццоланового вяжущего белого цвета // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 26–30.
4. Mukhametrakhimov R. K., Galautdinov A. R. Set-retarding plasticizers for improving the effectiveness of gypsum-cement-pozzolan binders // ZKG International. 2018. № 11. P. 52–57.
5. Bazhenov Y. M., Zagorodnjuk L. H., Lesovik V. S., Yerofeyeva I. V., Chernysheva N. V., Sumskoy D. A. Concerning the role of mineral additives in composite binder content // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 4. P. 22649–22661.
6. Токарев Ю. В., Гинчицкий Е. О., Гинчицкая Ю. Н., Гордина А. Ф., Яковлев Г. И. Влияние комплекса добавок на свойства и структуру гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2016. № 1-2. С. 84–89.
7. Белов В. В., Бурьянов А. Ф., Яковлев Г. И., Петропавловская В. Б., Фишер Х.-Б., Маева И. С., Новиченкова Т. Б. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. М. : Де Нова, 2012. 196 с.
8. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z. Faizrakhmanov I. I. The influence of thermally activated clay additives on the properties of composite gypsum binder // ZKG International. 2017. № 5. P. 58–63.
9. Кузьмина В. П. Механохимия в бетоне. М. : АСВ, 2013. 414 с.
10. Калашников В. И., Мороз М. Н., Тараканов О. В., Калашников Д. В., Суздальцев О. В. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами // Строительные материалы. 2014. № 9. С. 70–75.

**Khaliullin Marat Ilsurovich**
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
**Faizrakhmanov Ildar Idrisovich**
chief project engineer
E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com
**LLC «Zemelnaya agropromyshlennaya korporaciya»**
The organization address: 119435, Russia, Moscow, Savinovskaya nab., 23, b. 1

**The effect of ground limestone on the properties of a composite gypsum binder using thermally activated clay as a pozzolan component**

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of this work was to study the influence of methods of preliminary preparation of thermally activated clay, which is a pozzolan component in the preparation of water-resistant composite gypsum binders, as well as the effect of mechanochemical activation in the joint grinding of thermally activated clay with the addition of a plasticizer on the pozzolanic activity and the change in the required number of pozzolanic component in the composition of composite gypsum binders.

*Results.* It is established that the required amount of thermally activated clay in the composition of gypsum-cement-pozzolan composition at its grinding to specific surfaces of 200-500 $m^2$/kg together with the addition of the Melflux 2651 F plasticizer decreases by 20-25 % compared with the use of thermally activated clay ground without the introduction of a plasticizer. The optimal amount of Melflux 2651 F plasticizer introduced during grinding with thermally activated clay was established.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry lies in the fact that the application of the technology of production of composite gypsum binders thermoactivating grinding clay to a dispersion with the introduction of additives of a plasticizer due to the effect of mechanical activation allows to reduce the consumption of pozzolanic component in the composition of the binder or the energy consumption for grinding.

**Keywords:** plasticizer, composite gypsum binder, gypum-scement-pozzolanic composition, thermally activated clay, water resistance, mechanochemical activation.

## References

1. Petropavlovskaya V. B., Zavadko M. Yu., Petropavlovskii K. S., Novichenkova T. B., Buryanov A. F. The Use of Plasticizers in Modified Gypsum Composites // Stroitelnye materialy. 2019. № 1-2. P. 28–35.
2. Ibragimov R. A., Korolev E. V. Deberdeev T. R. The influence of plasticizers on the properties of gypsum binders activated in vortex layer apparatus // Vestnik MGSU. 2019. T. 14. Issue 3. P. 293–300.
3. Morozova N. N., Kuznetsova G. V., Maysuradze N. V., Akhtariev R. R., Abdrashitova L. R., Nizamutdinova E. R. Research in the activity of a pozzolanic component and superplasticizer for gypsum cement pozzolanic binder of white colour (GCPB) // Stroitelnye materialy. 2018. № 8. P. 26–30.
4. Mukhametrakhimov R. K., Galautdinov A. R. Set-retarding plasticizers for improving the effectiveness of gypsum-cement-pozzolan binders // ZKG International. 2018. № 11. P. 52–57.
5. Bazhenov Yu. M., Zagorodnjuk L. H., Lesovik V. S., Yerofeyeva I. V., Chernysheva N. V., Sumskoy D. A. Concerning the role of mineral additives in composite binder content // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. V. 8. № 4. P. 22649–22661.
6. Tokarev Yu. V., Ginchitsky E. O., Ginchitskaya Yu. N., Gordina A. F., Yakovlev G. I. Influence of additive complex onto the propertiesand structure of gypsum binder // Stroitelnye materialy. 2016. № 1-2. P. 84–87.
7. Belov V. V., Buryanov A. F., Yakovlev G. I., Petropavlovskaya V. B., Fisher H.-B., Maeva I. S., Novichenkova T. B. Modification of the structure and properties of building composites based on calcium sulfate. M. : De Nova, 2012. 196 p.
8. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z. Faizrakhmanov I. I. The influence of thermally activated clay additives on the properties of composite gypsum binder // ZKG International. 2017. № 5. P. 58–63.
9. Kuzmina V. P. Mechanical chemistry in concrete. M. : ASV, 2013. 414 p.
10. Kalashnikov V. I., Moroz M. N., Tarakanov O. V., Kalashnikov D. V., Suzdaltsev O. V. New ideas about action mechanism of superplasticizers grinded jointly with cement or mineral rocks // Stroitelnye materialy. 2014. № 9. P. 70–75.

УДК 692.92
**Салахова Алсу Рамисовна**
инженер
E-mail: alsu.salakhova26@mail.ru
**Евстигнеева Юлия Вячеславовна**
инженер
E-mail: uliyaevstigneeva@mail.ru
**ООО «ВМ-СТРОЙ»**
Адрес организации: 420021, Россия, г. Казань, ул. Габдуллы Тукая, д. 130
**Ибрагимов Руслан Абдирашитович**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: rusmag007@yandex.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

# Технология возведения колонн с применением несъемной опалубки

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – решение проблемы по повышению эффективности применения несъемной опалубки колонн путем выбора наиболее подходящего материала.

*Результаты.* С помощью расчета в программном комплексе Лира САПР разработана модель несъемной опалубки колонны из стекломагнезитового листа и выполнено конструирование опалубки. Разработана технологическая карта на монтаж несъемной опалубки и на бетонирование колонны с определением необходимого количества и видов работ, а также с определением трудоемкости.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности повышения эффективности применения несъемной опалубки из стекломагнезитового листа для круглых колонн. Применение несъемной опалубки из стекломагнезитового листа для круглых монолитных колонн позволяет снизить трудозатраты на их возведение и повысить огнестойкость конструкции. Путем моделирования и расчетов колонны установлено, что колонна из несъемной опалубки должна иметь следующие параметры: высота колонны – 3 м, диаметр – 500 мм, толщина стекломагнезитового листа – 10 мм, хомут из трубы h=100 мм, d=530×10 мм с шагом 1 м.

**Ключевые слова:** несъемная опалубка, стекломагнезитовый лист, колонна, монолит, материал.

## Введение

На сегодняшний день одной из актуальных проблем в строительстве является продолжительность возведения зданий и сооружений с целью ускорения возведения объекта строительства с высоким качеством работ. В настоящее время, несмотря на экономический кризис, во многих странах также продолжается активное строительство зданий и сооружений. Для увеличения скорости строительства и снижения затрат, применяются инновации в строительстве. Все чаще используются новые конструкционные и отделочные материалы, все больше разрабатываются новые эффективные технологии строительства, автоматизируется инженерное оборудование и работа. Применение несъемной опалубки является одним из способов сокращения времени строительства зданий и сооружений, а также упрощения процесса строительства. Несъемная опалубка – это инновация в строительстве, которая обеспечивает скорость возведения конструкций, их прочность и архитектурную выразительность [1-7].

В соответствии с ГОСТ 34329-2017 несъемная опалубка – опалубка, состоящая из щитов (панелей, блоков, пластик), остающихся после бетонирования в конструкции, и инвентарных поддерживающих элементов. Как правило, абсолютное большинство типов несъемной опалубки не включается в расчетное сечение конструкции.

Однако, несмотря на такой большой выбор и широкое применение несъемной опалубки в строительстве, остаются недостаточно изученными возможности использования несъемной опалубки колонн. Цель данной работы – разработка и повышение эффективности применения несъемной опалубки для круглых колонн.

**Статистика развития монолитного строительства**

Эффективность и скорость монолитного строительства, зависит от опалубочных систем и их совершенствования. На современном этапе развития монолитного строительства опалубочные системы – это системы, требующие качественного технического сопровождения и программного обеспечения.

Новый подход в монолитном строительстве, а также выбор и обоснование методов технологии и организации строительства необходимы для развития строительной отрасли, качественного обеспечения зданий и сооружений различного функционального назначения и для прорыва в совершенствовании новых опалубочных систем, научного подхода к их выбору и обоснованию. Индивидуальность, повышенное качество, архитектурная выразительность, прочность, долговечность, надежность зданий и сооружений, уменьшение материальных, трудовых, энергетических затрат на возведение зданий и сооружений сделали монолитное строительство одним из самых высокотехнологичных видов строительства.

В качестве подтверждения выдвинутого тезиса проанализирована доля монолитного бетона и железобетона в общем объеме бетонных конструкций, производимых в различных странах мира. Полученные данные очень противоречивы и не показывают действительную динамику и развитие монолитного строительства [8-9].

Доля возведения конструктивных частей зданий и сооружений из монолитного бетона и железобетона в ряде стран представлена в табл. 1. Статистика выявлена на основании исследований [10-11].

Таблица 1

**Доля монолитного бетона и железобетона от общего объема бетонных конструкций в ряде стран**

| Россия, % | Польша, % | Испания, % | Израиль, % | Турция, % | США, % | Япония, % | Франция, % | Италия, % | Германия, % | Финляндия, % | Великобритания, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 56 | 54 | 95 | 89,4 | 72,6 | 71,9 | 70,7 | 68 | 67,7 | 65,9 | 62,9 |

**Выбор применяемого материала опалубки колонн**

Несъемную опалубку классифицируют по множеству различных признаков. Однако в настоящее время не существует универсальной классификации несъемной опалубки. Это в основном связано с тем, что скорость внедрения новых опалубочных систем намного уступает скорости разработки новшеств в этой области: по прогнозам научных знаний – примерно в 4-5 раз.

Различают несколько видов несъемной опалубки для создания несущих конструкций:

– блоки из вспененного полистирола с пустотами;
– облицовочная несъемная опалубка;
– несъемная опалубка по технологии PLASTBAU-3;
– армированные панели;
– деревобетонные панели или блоки.

Несмотря на большой выбор и их широкое применение, все вышеперечисленные виды несъемных опалубок в основном применяются для стеновых конструкций.

Установлено, что малоизученными остаются вопросы применения несъемной опалубки для колонн [12-14].

В процессе изучения материалов опалубки, их свойств и характеристик, принято решение рассмотреть опалубку круглых колонн из стекломагнезитового листа (СМЛ) (рис. 1). Стекломагнезит имеет множество преимуществ, но особенно стоит выделить высокую огнестойкость данного материала. При толщине листа 6 мм СМЛ способен выдерживать нагрев до 1200 °С в течение 2-х часов. Отделка колонны в несъемной опалубке из стекломагнезита не требует больших трудозатрат [5]. Еще одной из основных характеристик СМЛ является гибкость материала. СМЛ легко сгибается и при этом не ломается и не трескается. Это происходит из-за армирующей сетки, которая не даёт листу ломаться, так же как и арматура в бетоне принимает на себя растягивающие силы. Данное свойство СМЛ позволяет легко монтировать его при выполнении сложных фигурных работ. Также возможность повреждения СМЛ при транспортировке на объект сводится к нулю.

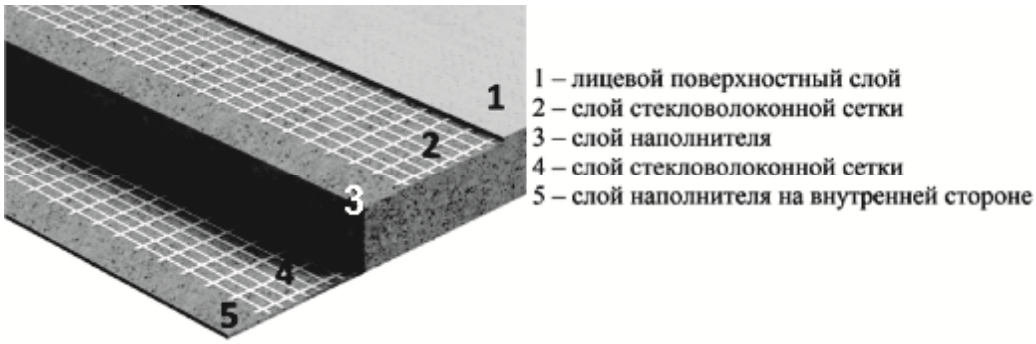



Рис. 1. Состав стекломагнезитового листа (https://relend.ru/)

Стекломагнезит – материал, который состоит из металлического термопрофиля и стекломагнезитового полотна. Данный материал получил известность совсем недавно и в России еще массово не применяется.

Стекломагнезитовый лист – это листовой отделочный материал на основе магнезиального вяжущего. Он состоит из каустического магнезита, хлорида магния, вспученного перлита и стеклоткани, которая выступает в качестве армирующего материала. В производстве СМЛ может также применяться нетканый материал из синтетических волокон. Огнестойкость и огнеупорность – основные показатели к назначению в строительстве данного материала. Преимущество перед классическим цементом и материалами на гипсовой основе дает солевое затворение цемента Сореля [6].

Технические характеристики стекломагнезитового листа представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Технические характеристики стекломагнезитового листа**

| Плотность, кг/м$^3$ | Группа горючести | Естественная влажность, % | Прочность на изгиб в сухом состоянии, МПа | Водопоглощение по массе, % | Усадка при высыхании, % | Теплопроводность, Вт/м°С | Морозоустойчивость, циклы | Ударная простость, кДж/к.кв |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 750-1200 | НГ | 9-11 | 6-20 | 20-40 | < 0,3 | 0,2-0,5 | 20-50 | 1,5-3,5 |

**Расчет и моделирование несъемной опалубки из стекломагнезитового листа для круглой колонны**

В СП 371.1325800.2017 «Опалубка. Правила проектирования» отсутствуют сведения о проектировании и расчете несъемной опалубки. В связи с этим нами проведен собственный расчет опалубки из СМЛ, состоящий из следующих этапов:

1. Создается расчетная модель для численных и экспериментальных исследований стекломагнезита в составе монолитной железобетонной колонны диаметром 500 мм. Рассматривается высота колонны с опалубкой из стекломагнезита равная 3 м.

2. Предусматривается хомут из тубы высотой 100 мм, d=530×10 мм. Шаг хомута для крепления несъемной опалубки по высоте равен 1000 мм.

3. Назначаются жесткости элементов расчетной схемы.

4. Для определения действующих усилий на стекломагнезит был выполнен расчет узла в ПК «Лира-САПР».

Исходные данные по материалу:

– шаг ячеек оболочки для расчетной схемы – 40×100 мм;

– размер листа – 1220×2440 мм;

– коэффициент Пуассона – 0,35;

– модуль упругости – 200000000 Н/м$^2$;

– средняя плотность материала – 0,95 г/см$^3$;

– толщина материала – 8 мм, 10 мм, 20 мм;

– ударная прочность – 2,0 кДж.

Исходные данные для расчета узла:

1. Создается пространственная схема из 6, 8 узловых объемных конечных элементов (КЭ) для колонны и из плоских пластин – для опалубки.

2. Нагрузка от бетона во время подачи насосами 73 кг/м$^2$ (нагрузка прикладывается равномерно на поверхность пластины со стороны колонны).

3. Принят оптимальный шаг крепления опалубки к колонне исходя из размеров колонны. Шаг крепления 1000 мм по высоте.

4. В основании колонны на узлы наложены связи по осям X, Y, Z, UZ.

В результате расчета получены следующие данные:

– общий вид узла (рис. 2);

– изополя наибольших напряжений $M_X$, $M_Y$, $M_{XY}$, $Q_X$, $Q_Y$, $N_X$, $N_Y$, $\tau_{XY}$;

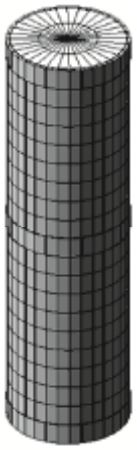


Рис. 2. Общий вид узла в ПК «Лира-САПР 2013» (R3) (иллюстрация авторов)

Для каждого пункта приводятся максимальные значения напряжений, соответствующие наиболее невыгодному сочетанию нагружения для узла.

По полученным результатам расчета определено, что наиболее приемлемая толщина стекломагнезита для использования в виде опалубки – 10 мм. Результаты расчета представлены в виде зависимости толщины несъемной опалубки из стекломагнезита от шага хомута для крепления опалубки и диаметра колонны (рис. 3).

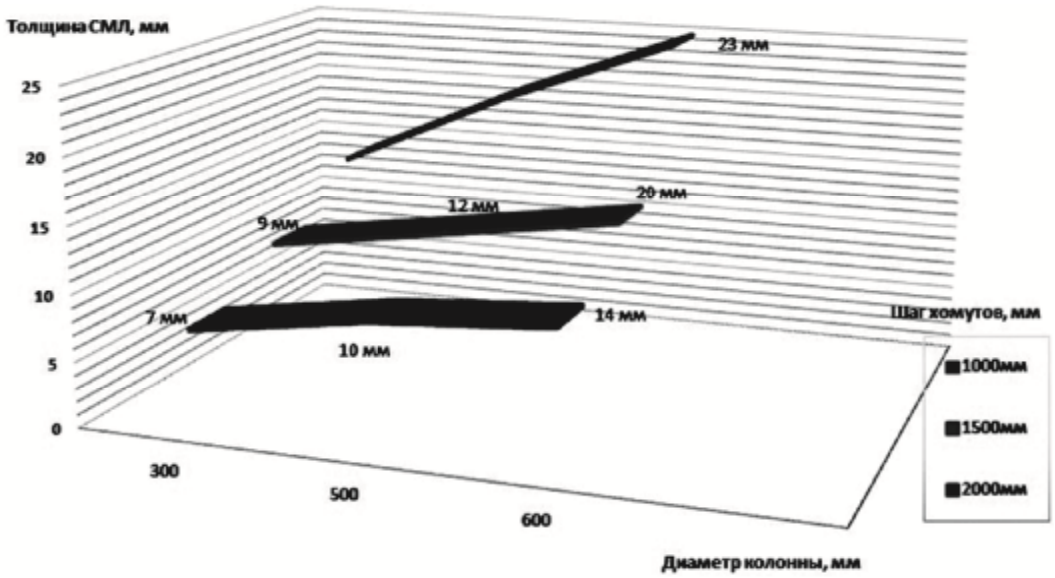



Рис. 3. Зависимость толщины несъемной опалубки из стекломагнезита от шага хомута для крепления опалубки и диаметра колонны (иллюстрация авторов)

**Определение трудоемкости монтажа несъемной опалубки из стекломагнезитового листа**

Далее для определения трудоемкости монтажа несъемной опалубки и замоноличивания круглой колонны в результате расчета приняты следующие размеры колонны и конструкции опалубки (рис. 4).

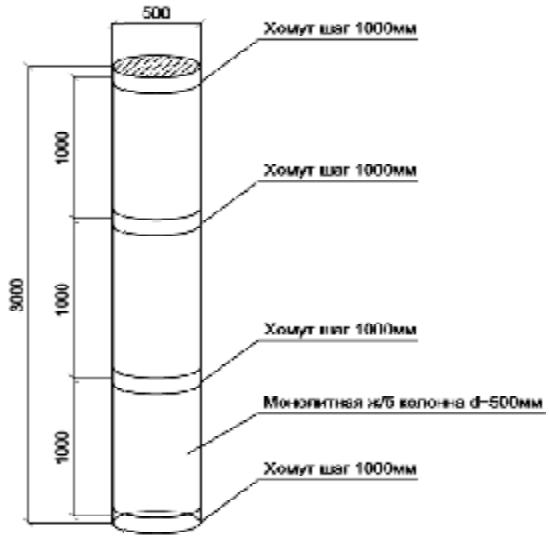



Рис. 4. Модель опалубки (иллюстрация авторов)

По итогам исследования приняты следующие параметры колонны и конструкции опалубки: высота колонны – 3 м, диаметр – 500 мм, толщина СМЛ – 10 мм, хомут из тубы h=100 мм, d=530×10 мм с шагом 1000 мм.

С целью определения состава и трудоемкости выполняемых работ разработана технологическая карта на производство работ и возведение монолитных круглых колонн в несъемной опалубке из стекломагнезитового листа.

Виды рассматриваемых работ в технологической карте:

– устройство и вязка арматурных стержней;

– монтаж опалубки с креплением и фиксацией;

– устройство и разбор стремянки;

– приготовление и укладка бетона в опалубку.

В состав работ по монтажу опалубки входят следующие виды работ:

– к закладным деталям, заранее оставленным в плите, при помощи сварки крепят первый хомут;

– к первому хомуту путем сварки крепят симметрично 3 металлические полосы на всю высоту колонны;

– с шагом 1 м по высоте приваривают второй и третий хомуты;

– заранее подготовленный стекломагнезитовый лист прикрепляют к смонтированным хомутам.

Для практической оценки полученных результатов была определена трудоемкость монтажа двадцати колонн, а также рассчитана общая продолжительность монтажа, которая составила 7 рабочих дней. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Технико-экономические показатели**

| Показатель | Ед. измерения | Кол-во |
|---|---|---|
| Объем работ | $м^3$ | 7,85 |
| Затраты труда | чел.-дн. | 15,36 |
| Затраты машинного времени | маш.-смена | 0,15 |
| Продолжительность работ | дн. | 7 |

**Заключение**

1. Предложено применять стекломагнезитовые листы в качестве несъемной опалубки круглых колонн.

2. Создана расчетная модель и произведен расчет конструкции опалубки из стекломагнезитового листа, в результате чего получены зависимости толщины стекломагнезитового листа от шага хомутов и диаметра колонны. Так, для диаметра бетонируемой колонны от 300 до 600 мм толщина стекломагнезитового листа варьируется в интервале 7-23 мм.

3. Разработана технологическая карта на производство работ по возведению монолитных круглых колонн в несъемной опалубке из стекломагнезитового листа и приведены технико-экономические показатели производства работ.

## Список библиографических ссылок


1. Ковалев Д. В. Несъемная опалубка в современном строительстве // Аллея Науки. 2018. № 1 (17). С. 371–374.
2. Морьев А. В. Устройство монолитных железобетонных колонн методом бетонирования ВПТ с применением крупнощитовой опалубки // Символ науки. 2016. № 11-3 (23). С. 134–138.
3. Абрамян С. Г., Ахмедов А. М., Халилов В. С., Уманцев Д. А. Развитие монолитного строительства и современные опалубочные системы // Вестник ВолгГАСУ. 2014. № 36 (55). С. 231–235.
4. Адамцевич А. О., Пустовгар А. П. Оптимизация организации производственных процессов монолитного строительства // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 242–248.
5. Болтенко А. С., Рязанцев М. Н., Богданов П. А., Ковач И. А. СМЛ: характеристики, сравнение и область применения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 10 (37). С. 22–33.
6. Ажикина Н. В. Стекломагнезит – новый облицовочный материал // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1 (11). С. 32–37.
7. Анпилов С. М. Опалубочные системы для монолитного строительства. М. : АСВ, 2005. 280 с.
8. Коклюгина Л. А., Коклюгин А. В. Определение продолжительности строительства объектов нефтеперерабатывающей промышленности с учетом интересов участников инвестиционного строительного проекта // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 290–292.

9. Popov V. P., Popov D. V., Davidenko A. Yu. On technology of hydraulic engineering structures retaining walls production Procedia Engineering // Procedia Engineering. 2015. Vol 111. P. 656–659.
10. Figovskij O. L., Futoryanskij A. M. Erecting multistory buildings with monolithic reinforced concrete slab floors by using precast large-sized spatial structures // Construction and Architecture. 2015. № 3 (27). P. 19–31.
11. Schmidt A., Curbach M. Manfred Design optimization to increase the (buckling) stability of concrete columns // Structural concrete. 2017. № 5 (18). P. 680–692.
12. Fromknecht S., Odenbreit Ch., Dorka U. Results of Experimental Investigations on the Load-Bearing Capacity of Steel Anchor Plates with in Concrete Encased Headed Studs in Reinforced Narrow Concrete Columns // Beton- und stahlbetonbau. 2010. № 6 (105). P. 360–370.
13. Spitz N., Coniglio N., Mansori M. El., Montagne A., Mezghani S. Quantitative and representative adherence assessment of coated and uncoated concrete-formwork // Surface and Coatings Technology. 2018. № 15 (352). P. 247–256.
14. David L., Pere R., Andrew L., Tom V., Philippe B. Tile vaults as integrated formwork for reinforced concrete: Construction, experimental testing and a method for the design and analysis of two-dimensional structures // Engineering Structures. 2019. № 12 (188). P. 233–248.

**Salakhova Alsu Ramisovna**
engineer
E-mail: alsu.salakhova26@mail.ru
**Evstigneeva Julia Vyacheslavovna**
engineer
E-mail: uliyaevstigneeva@mail.ru
**LLC «VM-STROY»**
The organization address: 420021, Russia, Kazan, Gabdulla Tukay st., 130
**Ibragimov Ruslan Abdirashitovich**
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: rusmag007@yandex.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## Constructing technology using fixed formwork

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to solve a scientific problem to improve the effectiveness of the use of fixed decorative facade casing, by selecting the most suitable material.

*Results.* By calculating in the Lyra CAD software complex, a model of fixed formwork for a column of glass-magnesite sheet has been developed, and the formwork has been designed. The technological map for the installation of permanent formwork and concreting of the column with the definition of the required number of the type of work and their labor intensity has been developed.

*Conclusions.* The values of the obtained results for the construction industry consist in increasing the efficiency of using fixed formwork for round columns of glass-magnesite sheet. The use of fixed formwork from glass-magnesite sheet for a round monolithic column allows to reduce the labor costs for their construction and increase the fire resistance of structures. The following parameters should be indicated in the column from the fixed support: the column height is 3 m, diameter is 500 mm, the thickness of the glass-magnesite sheet is 10 mm, the pipe clamp is h = 100 mm, d = 530×10 mm with a step of 1 m.

**Keywords:** fixed formwork, glass-magnesite sheet, column, monolith, material.

## References


1. Kovalev D. V. Fixed formwork in modern construction // Alleya Nauki. 2018. № 1 (17). P. 371–374.
2. Moriev A. V. Designing of monolithic reinforced concrete columns by the concrete VPT concreting method using large-panel formwork // Simvol nauki. 2016. № 11-3 (23). P. 134–138.
3. Abramyan S. G., Akhmedov A. M., Khalilov V. S., Umantsev D. A. Development of monolithic construction and modern formwork systems // Vestnik VolgGASU. 2014. № 36 (55). P. 231–235.
4. Adamtsevich A. O., Pustovgar A. P. Optimization of the organization of production processes of monolithic construction // Vestnik MGSU. 2013. № 10. P. 242–248.
5. Boltenko A. S., Ryazantsev M. N., Bogdanov P. A., Kovach I. A. UML: characteristics, comparison and scope // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. № 10 (37). P. 22–33.
6. Azhikina N. V. Steklomagnezit – a new facing material // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2010. № 1 (11). P. 32–37.
7. Anpilov S. M. Formwork systems for monolithic construction. M.: ASV, 2005. 280 p.
8. Koklyugina L. A., Koklyugin A. V. Determining the duration of the construction of oil refining facilities taking into account the interests of participants in an investment construction project // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. V. 17. № 20. P. 290–292.
9. Popov V. P., Popov D. V., Davidenko A. Yu. On technology of hydraulic engineering structures retaining walls production Procedia Engineering. Vol. 111. 2015. P. 656–659.
10. Figovskij O. L., Futoryanskij A. M. Erecting multistory buildings with monolithic reinforced concrete slab floors by using precast large-sized spatial structures // Construction and Architecture. 2015. № 3 (27). P. 19–31.
11. Schmidt A., Curbach M. Manfred Design optimization to increase the (buckling) stability of concrete columns // Structural concrete. 2017. № 5 (18). P. 680–692.
12. Fromknecht S., Odenbreit Ch., Dorka U. Results of Experimental Investigations on the Load-Bearing Capacity of Steel Anchor Plates with in Concrete Encased Headed Studs in Reinforced Narrow Concrete Columns // Beton- und stahlbetonbau. 2010. № 6 (105). P. 360–370.
13. Spitz N., Coniglio N., Mansori M. El., Montagne A., Mezghani S. Quantitative and representative adherence assessment of coated and uncoated concrete-formwork // Surface and Coatings Technology. 2018. № 15 (352). P. 247–256.
14. David L., Pere R., Andrew L., Tom V., Philippe B. Tile vaults as integrated formwork for reinforced concrete: Construction, experimental testing and a method for the design and analysis of two-dimensional structures // Engineering Structures. 2019. № 12 (188). P. 233–248.

УДК 625.768:692.4
**Лупанов Андрей Павлович**
доктор технических наук, профессор, генеральный директор
E-mail: abz4@abz4.ru
**АО «АБЗ Капотня»**
Адрес организации: 109429, Россия, г. Москва, ул. Верхние Поля, д. 54
**Силкин Вячеслав Васильевич**
кандидат технических наук, профессор
E-mail: vvsilkin@mail.ru
**Козиков Игорь Олегович**
аспирант
E-mail: i-kozikov@mail.ru
**Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет**
Адрес организации: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 64
**Ильина Ольга Николаевна**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: ilina@kgasu.ru
**Казанский архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

# Исследование свойств асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли для строительства и ремонта автомобильных дорог и городских улиц

**Аннотация**

*Постановка задачи*. Цель исследования – определить свойства асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли в составе.

*Результаты*. Установлено, что введение отходов мягкой кровли в количестве 2 % позволяет обеспечить требования к асфальтобетону в соответствии с ГОСТ 9128. Основные результаты исследования состоят в разработке и внедрении технологических схем приготовления асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в обеспечении качества производства асфальтобетонных смесей при снижении их стоимости и утилизации отходов мягкой кровли при строительстве и ремонте автомобильных дорог и городских улиц.

**Ключевые слова:** асфальтобетонный завод, асфальтобетонные смеси, битум, отходы мягкой кровли, автомобильные дороги, городские улицы.

## Введение

В соответствии с указом президента Российской Федерации № 176 от 19.04.2017 утверждена новая стратегия экономической безопасности РФ до 2025 года. Данная стратегия определяет основные важные сферы обеспечения безопасности Российской Федерации, которые, в частности, отражаются в эффективном использовании природных ресурсов, повышение уровня утилизации отходов производства и потребления.

Выполнение Указа Президента в дорожном строительстве возможно путем максимально широкого использования вторичных материальных ресурсов (при соответствующем технико-экономическом обосновании) взамен традиционных материалов, используемых для приготовления горячих асфальтобетонных смесей.

К числу таких вторичных ресурсов следует отнести отходы мягкой кровли, используемые для частичной замены битума, стоимость которого в составе асфальтобетонных смесей постоянно повышается в виду увеличения стоимости энергоресурсов и транспорта [1].

Источником получения жидкого битума для приготовления асфальтобетонной смеси может быть переработка отходов мягкой кровли, образующихся при сносе, реконструкции и ремонте зданий и сооружений.

Материал, получаемый при переработке отходов мягкой кровли, состоит из жидкого битума, фибры и волокнистых частиц. По данным ООО «Дорэксперт», содержания битума в отходах составляет 70 %, а фибры и волкистых частиц (слюда, целлюлоза) – 30 %.

Утилизация отходов мягкой кровли при сносе зданий и сооружений остро стоит практически во всех регионах России. Срок хранения отходов мягкой кровли на свалках и полигонах составляет около 100 лет. Захоронение строительных отходов на полигонах и свалках оказывает негативное влияние на структуру и состояние почвы, а также может привести к загрязнению, прилегающей к свалке, территории [2, 3].

Проблема утилизации отходов мягкой кровли и их повторного использования остро стоит и за рубежом. В США ежегодно пропадает более 11 млн тонн битумной кровли. В последнее время в ряде штатов проводятся лабораторные и экспериментальные исследования с целью использования материалов из переработанной мягкой кровли для производства горячих асфальтобетонных смесей [4-10].

**Экспериментальная часть по подбору состава и определению свойств асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных в России ООО «Дорэксперт» (г. Москва) на базе АО «АБЗ Капотня» (г. Москва) по изучению влияния отходов мягкой кровли на свойства асфальтобетонных смесей. Для проведения опытно-экспериментальных работ были выбраны асфальтобетонные смеси по ГОСТ 9128 и отходы мягкой кровли по СП 17.13330.2011.

Решение задачи использования отходов мягкой кровли в составе асфальтобетонных смесей, отвечающих требованиям нормативно документов при снижении их стоимости, является экономически, экологически и технически целесообразным.

В соответствии с требованиями ГОСТ 9128 ООО «Дорэксперт» были подобраны 2 состава асфальтобетонных смесей. Крупнозернистой КБ-1 (тип Б марка 1) и мелкозернистой МБ-1 (тип Б марка 1).

Контрольные составы асфальтобетонных смесей без применения отходов мягкой кровли приведены в табл. 1. Каменный материал предварительно просушивался и нагревался до температуры 160 $^{o}$C, а битум, путем обезвоживания и нагрева, нагревался до той же температуры.

Таблица 1

**Контрольные составы асфальтобетонных смесей**

| № п/п | Компоненты асфальтобетонной смеси | Содержание компонентов, % | |
|---|---|---|---|
| | | КБ-1 | МБ-1 |
| 1 | Щебень фракции 5/20 мм | 29 | 45 |
| 2 | Щебень фракции 20/40 мм | 14 | - |
| 3 | Песок средний $М_{кр}$=2,41 | 43 | 43 |
| 4 | Минеральный порошок | 14 | 12 |
| 5 | Битум | 4,7 | 4,6 |

При подборе составов с использованием отходов мягкой кровли часть битума в смеси была заменена на вторичный битум. Отходы мягкой кровли вначале смешивались в мешалке с рассчитанным количеством холодного песка. Содержание битума в смеси с отходами мягкой кровли соответствовало базовой (контрольной) смеси (табл. 1). Путем отмывки растворителем, с последующим разделением твердых отходов в центрифуге, было определено содержание битума в отходах мягкой кровли. Проведя камеральный анализ проведенных испытаний в лаборатории ООО «Дорэксперт», можно сделать вывод о содержании в испытанной пробе количества твердых частиц, которое составило порядка тридцати процентов, а количество битума – порядка семидесяти.

Свойства битума, находящегося в остатках мягкой кровли, по своим характеристикам близки к марке БН 90/10 по ГОСТ 6617.

Во время проведения на ООО «Дорэксперт» опытно-экспериментальных работ было подобрано оптимальное соотношение, при котором отходы мягкой кровли и

минимального количества холодного песка должны быть перемешаны с целью отсутствия слеживаемости в процессе хранения. Установлено, что оптимальное соотношение отходов кровли с песком 1:3. При введении большего количества отходов мягкой кровли непременно возрастает риск слеживаемости в штабеле при хранении. Также необходимо было скорректировать количество минерального порошка в асфальтобетонной смеси с учетом того, что частицы, находящиеся в отходах мягкой кровли, существенно снижают остаточную пористость, а при замене битума на вторичный (более вязкий) возможно увеличение показателя «прочность на сжатие».

Принятые окончательные варианты составов по количеству компонентов асфальтобетонных смесей КБ-1, МБ-1 представлены в табл. 2-3.

Таблица 2

**Приятые варианты состава асфальтобетонной смеси с использованием отходов мягкой кровли КБ-1**

| Компоненты асфальтобетонных смесей КБ-1 | | | Вариант 1 | | Вариант 2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Вяжущее сверх 100 % | Вяжущее в 100 % | Вяжущее сверх 100 % | Вяжущее в 100 % |
| Холодная составляющая смеси | Минеральный порошок, % | | 9,9 | 9,6 | 10,0 | 9,6 |
| | Песок холодный, % | | 5,9 | 5,7 | 3,0 | 2,9 |
| | Отходы кровли (ОК) | Твердая составляющая, % | 0,6 | 0,6 | 0,3 | 0,3 |
| | | Жидкая (битумная) составляющая, % | 1,4 | 1,3 | 0,7 | 0,7 |
| | | Всего, % | 2,0 | 1,9 | 1,0 | 1,0 |
| Горячая составляющая смеси | Песок, % | | 39,7 | 38,6 | 43,2 | 41,5 |
| | Щебень фр. (5/20 + 20/40), % | | 42,5 | 41,1 | 42,8 | 41,2 |
| | Битум БНД 60/90, % | | 3,3 | 3,2 | 4,0 | 3,8 |
| Всего вяжущего в смеси, % | | | 4,7 | 4,5 | 4,7 | 4,5 |

Таблица 3

**Принятый вариант состава асфальтобетонной смеси с использованием отходов мягкой кровли МБ-1**

| Компоненты асфальтобетонных смесей МБ-1 | | | Вяжущее сверх 100 % | Вяжущее в 100 % |
|---|---|---|---|---|
| Холодная составляющая смеси | Минеральный порошок, % | | 10,9 | 10,5 |
| | Песок холодный, % | | 3,0 | 2,9 |
| | Отходы кровли (ОК) | Твердая составляющая, % | 0,3 | 0,3 |
| | | Жидкая (битумная) составляющая, % | 0,7 | 0,7 |
| | | Всего, % | 1,0 | 1,0 |
| Горячая составляющая смеси | Песок, % | | 40,2 | 38,7 |
| | Щебень фр. (5/20), % | | 43,9 | 42,3 |
| | Битум БНД 60/90, % | | 3,8 | 3,7 |
| Всего вяжущего в смеси, % | | | 4,5 | 4,3 |

Результаты выполненных в соответствии с требованиями ГОСТ 9128 испытаний для асфальтобетонных смесей КБ-1 (варианты 1; № 2) и МБ-1 приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты испытаний состава асфальтобетонной смеси КБ-1 (2 варианта), МБ-1**

| № п/п | Наименование показателя | Требования по ГОСТ 9128 | Значение показателей | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | КБ-1 (I) | КБ-1 (II) | МБ-1 |
| 1 | Средняя плотность образца асфальтобетона, г/см$^3$ | не норм. | 2,49 | 2,485 | 2,51 |
| 2 | Пористость минеральной части, не более, % по объему | 19 | 13,28 | 13,45 | 13,50 |
| 3 | Остаточная пористость, % по объему | 2,5-5,0 | 2,77 | 2,96 | 3,13 |
| 4 | Водонасыщение, % по объему | 1,5-4,0 | 1,7 | 1,98 | 2,54 |
| 5 | Предел прочности при сжатии 20 $^o$C, не менее, МПа | 2,5 | 5,8 | 5,3 | 4,9 |
| 6 | Предел прочности при сжатии 50 $^o$C, не менее, МПа | 1,2 | 1,7 | 1,3 | 1,5 |
| 7 | Предел прочности при сжатии 0 $^o$C, не менее, МПа | 11,0 | 10,5 | 10,0 | 10,4 |
| 8 | Коэффициент водостойкости, не менее | 0,90 | 0,94 | 0,99 | 0,99 |
| 9 | Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, не менее | 0,85 | 0,87 | 0,94 | 0,95 |
| 10 | Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее | 0,81 | - | - | 0,92 |
| 11 | Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при температуре 50 $^o$C, не менее, МПа | 0,37 | - | - | 0,45 |
| 12 | Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0$^o$C и скорости деформации 50 мм/мин, МПа | 3,5-6,0 | - | - | 5,1 |
| 13 | Сцепление битума с минеральной частью асфальтобетонной смеси | ГОСТ 12801-98 не менее ¾ поверхности | - | - | Выдерживает |

По результатам выполненных исследований разработаны рекомендации по технологии производства асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли.

**Рекомендации по технологии производства асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли**

Основные параметры технологического процесса производства и выпуска готовой продукции в соответствии с техническими требованиями действующих нормативных документов обозначены в рекомендациях. Выпуск асфальтобетонных смесей с отходами мягкой кровли осуществляется в 2 этапа:

I производство смеси отходов с песком в бетоносмесительной установке;

II производство асфальтобетонной смеси с отходами мягкой кровли в асфальтосмесительной установке.

Технологический процесс производства смеси отходов мягкой кровли с песком включает в себя следующие операции:

- подача песка и отходов кровли в питающие бункеры;
- подача песка и отходов кровли на весовые дозаторы;
- дозирование материалов;
- перемешивание материалов до однородной массы;
- выгрузка смеси в автомобили-самосвалы;
- транспортировка смеси к месту хранения.

Технологический процесс приготовления асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли выключает следующие операции:

- приготовление битума;

- нагрев и высушивание минеральных материалов (щебня и песка);
- подачу смеси песка с отходами мягкой кровли в холодном виде через питатель;
- дозирование материалов-компонентов асфальтобетонной смеси;
- перемешивание отдозированных материалов;
- выгрузка готовой асфальтобетонной смеси;
- контроль качества продукции.

Изготовление вяжущего (битума) производится в котлах при температуре 130-150$^0$С, соединенных между собой трубопроводом кольцевого типа. Данная рабочая температура в каждом из котлов не может поддерживаться более пяти часов. При кольцевом соединении трубопроводов также имеется устройство для приема вяжущего из битумовозов. При выходе вяжущее (битум) должно быть обезвожено. Параллельно соединенные котлы обеспечивают циркуляцию вяжущего (битума) на постоянной основе и способность к поочередной выработке в любом порядке.

Каменные материалы (щебень и песок) из штабелей открытого типа при помощи погрузочной техники или бульдозеров перемещаются в бункеры, из которых системой транспортеров в принятых соотношениях направляются в сушильный барабан асфальтосмесительной установки. В сушильном барабане каменные материалы (щебень и песок) просушиваются и нагреваются до рабочей температуры 150-180 $^0$С. Далее нагретые до рабочей температуры минеральные материалы подаются в горячий бункер асфальтосмесительной установки.

Для приготовления асфальтобетонной смеси каменные материалы из горячего бункера и минеральный порошок из расходной емкости подаются на дозирование, а затем из весовой бадьи поступают в смеситель в определенных пропорциях, в котором производится перемешивание нагретых ранее минеральных материалов со смесью отходов мягкой кровли и холодного песка, далее подается минеральный порошок. Впрыскивание битума производится после совместного перемешивания смеси с минеральным порошком, после дозировки битума насосом-дозатором производится повторное мокрое домешивание минеральной смеси с битумом. Общее время перемешивания составляет 45 секунд (сухое перемешивание – 5 секунд, перемешивание во время вспрыскивания битума – 10 секунд и мокрое перемешивание вместе с отходами мягкой кровли – 30 секунд).

На основе подобранных составов асфальтобетонных смесей КБ-1, включающих отходы мягкой кровли, были построены опытные участки с асфальтобетонным покрытием общей площадью 5000 м$^2$. Результаты испытаний кернов опытных участков показали, что качество уложенных покрытий соответствует требованиям СП 78.13330.2012, а качество асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли соответствует требованиям ГОСТ 9128.

Проведенные экономические расчеты показали, что использование отходов кровли в составе горячих асфальтобетонных смесей позволяет снизить содержание в них дорогостоящих материалов, таких как битум и минеральный порошок. Снижения расхода этих материалов позволяет экономить порядка 40-50 руб. на 1 тонну асфальтобетонной смеси.

**Заключение**

1. Расширение сырьевой базы для производства асфальтобетонных смесей возможно обеспечить не только за счет оптимизации состава смесей, но и в результате вовлечения в производство отходов мягкой кровли.

2. Экспериментально установлено положительное влияние отходов мягкой кровли на свойства асфальтобетона. Введение измельченных отходов мягкой кровли в состав асфальтобетонных смесей в количестве до 2 % позволяет получить асфальтобетон, отвечающий требованиям ГОСТ 9128.

3. На основе подобранных составов горячих асфальтобетонных смесей, включающих отходы мягкой кровли, были построены опытные участки общей площадью 5000 м$^2$. По результатам испытаний установлено, что качество уложенного асфальтобетонного покрытия отвечает требованиям СП 78.13330.2012, а качество асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли отвечает требованиям ГОСТ 9128.

4. Предложенная технология приготовления горячих асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли представляет собой предварительное перемешивание смеси отходов мягкой кровли с холодным песком в соотношении 1:3, а также дробление крупных агрегатов смеси и подачу данной смеси через отдельный дозатор в горячие минеральные материалы асфальтосмесительной установки.

5. Практическое внедрение предложенной технологии позволило снизить расход дорогостоящих битума и минерального порошка, что экономит порядка 40-50 руб. на 1 тонну асфальтобетонной смеси и решает проблему утилизации отходов мягкой кровли.

**Список библиографических ссылок**

1. Лупанов А. П. Переработка асфальтобетона на АБЗ. М. : Экоинформ, 2012. 210 с.
2. Яковлев В. В., Асадулина З. У. Асфальтобетоны на битумном вяжущем, полученном из отходов ремонта кровель // Башкирский химический журнал. 2011. № 1. С. 49–52.
3. Яковлев В. В., Асадулина З. У. Механизм старения и пластификации вторичного битума гудроном // Строительные материалы. 2012. № 1. С. 51–53.
4. Nam BooHyun, Maherinia Hamid, Behzadan Amir H. Mechanical characterization of asphalt tear-off roofing shingles in Hot Mix Asphalt // Construction and Building Materials. 2014. № 50. P. 308–316.
5. Foxlow Jennifer J., Daniel Jo Sias. Swamy Aravind Krishna RAP or RAS? The Differences in Performance of HMA Containing Reclaimed Asphalt Pavement and Reclaimed Asphalt Shingles // Asphalt Paving Technology. 2011. № 80. P. 347–376.
6. Sedhay Govinda, Fini Elham H., Abu-Lebdeh Taher. Investigating effects of amine based modifier on recycled asphalt shingles blending // American Journal of Engineering and Applied Science. 2014. № 7 (1). P. 105–114.
7. Асадулина З. У., Хасанова Л. Э. Зарубежный опыт использования кровельных отходов для асфальтобетонных смесей : сб. ст. Проблемы строительного комплекса России: Материалы XVI Международной конференции / УГНТУ. Уфа, 2012. С. 133–134.
8. Халиулина Л. Э. Вторичное использование отходов кровельных материалов и старого асфальтобетона в США и Канаде // Молодой ученый. 2018. № 50. С. 61–64.
9. Reynaldo Roque, Yu Yan, George Lopp. Impact of Recycled Asphalt Shingles (RAS) on Asphalt Binder Performance. Florida : University of Florida, 2018. 115 p.
10. Thomas David Farris IV. Evaluating the Contribution of Asphalt Binder from Recycled Asphalt Shingles in Asphalt Concrete. Auburn : Auburn University, 2016. 110 p.

**Lupanov Andrey Pavlovich**
doctor of technical sciences, professor, general director
E-mail: abz4@abz4.ru
**JSC «ABZ-4 Kapotnya»**
The of organization address: 109429, Russia, Moscow, Verhnie polya st., 54
**Silkin Vyacheslav Vasilyevich**
candidate of technical sciences, professor
E-mail: vvsilkin@mail.ru
**Kozikov Igor Olegovich**
post-graduate student
E-mail: i-kozikov@mail.ru
**Moscow Automobile and Road Construction State Technical University**
The of organization address: 125319, Russia, Moscow, Leningardsky pr., 64
**Ilina Olga Nikolaevna**
candidate of technical sciences, associated professor
E-mail: ilina@kgasu.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The of organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## Research of the properties of asphalt mixers using soft roofing wastes for the construction and repair of automobile roads and city streets

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to determine the properties of asphalt mixtures using soft roof waste.

*Results.* The main results of the study are the development and implementation of technological schemes for the preparation of asphalt mixtures using soft roof waste. It was established that the introduction of soft roof waste in an amount of 2 % allows us to meet the requirements for asphalt concrete in accordance with GOST 9128.

*Conclusions.* The value of the obtained results to the construction industry is to ensure the quality of production of asphalt mixtures while reducing their cost and the disposal of soft roof wastes during the construction and repair of roads and city streets.

**Keywords:** asphalt-concrete plant, asphalt mixtures, bitumen, soft roof waste, roads, city streets.

### References

1. Lupanov A. P., Recycling of asphalt concrete on ACpP. M. : Ekoinform, 2012. 210 p.
2. Yakovlev V. V., Asadullina Z. U. Asphaltic-cement on bitumen knitting, which is turning out from roofing waste // Bashkirskij himicheskij zhurnal. 2011. № 1. P. 49–52.
3. Yakovlev V. V., Asadullina Z. U. The mechanism of aging and plasticization of secondary bitumen with tar // Stroitel'nye materialy. 2012. № 1. P. 51–53.
4. Nam BooHyun, Maherinia Hamid, Behzadan Amir H. Mechanical characterization of asphalt tear-off roofing shingles in Hot Mix Asphalt // Construction and Building Materials. 2014. № 50. P. 308–316.
5. Foxlow Jennifer J., Daniel Jo Sias. Swamy Aravind Krishna RAP or RAS? The Differences in Performance of HMA Containing Reclaimed Asphalt Pavement and Reclaimed Asphalt Shingles // Asphalt Paving Technology. 2011. № 80. P. 347–376.
6. Sedhay Govinda, Fini Elham H., Abu-Lebdeh Taher. Investigating effects of amine based modifier on recycled asphalt shingles blending // American Journal of Engineering and Applied Science. 2014. № 7 (1). P. 105–114.
7. Asadullina Z. U., Hasanova L. E. Foreign experience in the use of roofing waste for asphalt mixes : dig. of art. Problems of the construction complex of Russia: Materials of the XVI International Conference / UGNTU. Ufa, 2012. P. 133–134.
8. Haliulina L. E. Recycling of roofing materials and old asphalt concrete in the USA and Canada // Molodoj uchenyj. 2018. № 50. P. 61–64.
9. Reynaldo Roque, Yu Yan, George Lopp. Impact of Recycled Asphalt Shingles (RAS) on Asphalt Binder Performance. Florida : University of Florida, 2018. 115 p.
10. Thomas David Farris IV. Evaluating the Contribution of Asphalt Binder from Recycled Asphalt Shingles in Asphalt Concrete. Auburn : Auburn University, 2016. 110 p.

УДК 624.21/8
**Нурмухаметов Карим Альфредович**
инженер
E-mail: msn1996@mail.ru
**ООО «Регион»**
Адрес организации: 423600, Россия, г. Елабуга, пр. Мира, д. 14А
**Зиннуров Тагир Альмирович**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: leongar@mail.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
**Садыков Денис Мадисович**
инженер
E-mail: saddentroy@gmail.com
**ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие»**
Адрес организации: 420126, Россия, г. Казань, пр. Хусаина Ямашева, д. 57А

# Алгоритм принятий решений в системе управления региональными мостами

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – проанализировать зарубежные и отечественные системы управления мостами и разработать алгоритм принятия решений в составе системы управления региональными мостами.

*Результаты.* По результатам исследования были выявлены преимущества и недостатки рассмотренных систем управления мостами, а также разработан алгоритм принятия решений, позволяющий формировать эффективную стратегию ремонта, определяющую приоритетность работ. Данный алгоритм даёт возможность учитывать, техническое состояние, стоимости ремонтных работ и значимость сооружения в сети автомобильных дорог регионального значения.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в возможности разработки регионально-ориентированных систем управления мостами на основе разработанного алгоритма, которые будут учитывать особенности подхода к финансовому управлению в регионе.

**Ключевые слова:** мостовые сооружения, система управления мостами, приоритетность ремонта, база данных по мостам, алгоритм принятия решений.

## Введение

Мостовые сооружения являются важной составляющей любой развитой транспортной инфраструктуры, причем их строительство, ремонт и содержание требуют значительных объемов финансирования. От технического состояния мостовых сооружений зависят бесперебойность, комфорт и безопасность движения транспорта. Исходя из этих причин, задача по обеспечению сохранности мостовых сооружений всегда актуальна.

Согласно Государственной программе «Развитие транспортной системы Республики Татарстан на 2014-2022 годы» (далее – Программа), утвержденной Постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 20 декабря 2013 года № 1012, в Республике на автомобильных дорогах общего пользования регионального значения эксплуатируются 1105 мостов. На их ремонт ежегодно выделяется порядка 115 млн руб., которые распределяются в среднем на 10 мостов, что составляет около 1 % от их общего количества. Также из программы следует, что в настоящее время на 70-ти % металлических мостов практически отсутствует защитное покрытие, в связи с чем наблюдаются все виды коррозии металла, на 70-80-ти % железобетонных мостов оголена и прокорродированна рабочая арматура главных балок и плит пролетных строений, на около 85-ти % тротуаров мостов имеются сквозные отверстия в виду разрушения бетона, в связи с этим их состояние не удовлетворяет требованиям безопасности, а на 60-65-ти % мостов либо отсутствуют, либо находятся в неудовлетворительном состоянии барьерные и перильные ограждения.

Исходя из вышеизложенного, в условиях большого количества эксплуатируемых сооружений и ограниченного объема финансирования, приходится принимать непростые управленческие решения, которые позволяют правильно определять приоритетность работ по ремонту мостов. На сегодняшний день для сети региональных автомобильных дорог РТ отсутствуют руководства по принятию таких решений. На сети федеральных автомобильных дорог России и в зарубежной практике данную задачу решают системы управления мостами, включающие в себя алгоритмы, позволяющие определять приоритетность работ. В связи с этим, при разработке системы управления региональными мостами, задачи по рассмотрению полезного опыта использования существующих систем, и разработке адаптированных для целей региона алгоритмов, становятся актуальными.

**Особенности зарубежных и отечественных систем управления мостами**

Многие работы [1-9] как отечественные, так и зарубежные, посвящены обзору систем управления мостами. Некоторые из них обобщают мировой опыт использования таких систем [1-3], а некоторые дают рекомендации по их внедрению на территории различных стран мира [4-6]. Авторами же рассмотрен зарубежный и отечественный опыт в рамках реализации систем управления мостами, который может быть использован в разработке региональных систем.

История развития систем управления мостами начинается в начале 70-х годов прошлого столетия в США. Первая система включала в себя стандарты, содержащие технические условия на инспектирование и инвентаризацию мостов. Эти нормативные документы являлись основой для принятия решений, расстановки приоритетов. Конечно, на тот момент эта система была удобна, однако она не позволяла анализировать и прогнозировать потребность в финансировании.

В России в 1975 году было создано первое подобие системы управления мостами, которая состояла из базы данных мостовых сооружений – информационно-поисковой системы «МОСТ» и технических правил содержания и ремонта автомобильных дорог – ВСН 24-75. Вместе они позволяли систематизировать информацию о техническом состоянии мостов, а также установить требуемый вид работ и источник финансирования для проведения ремонтных работ. Однако эта система просуществовала недолго, поскольку не было острой необходимости в определении приоритетности работ по ремонту, в связи с высоким уровнем промышленности, по части производства сборных железобетонных конструкций, высокими темпами и большими объемами строительства мостов из этих конструкций.

На текущий момент большинство развитых стран мира, таких как США, Канада, Финляндия, Дания, Великобритания, Германия, активно используют национальные системы управления мостами. Рассмотрим особенности некоторых зарубежных систем.

Система управления мостами в Германии – SIB-Bauerwerke, на основании исходной информации, формирует целевую функцию и функции приоритета, в основу которых заложены установленные ранее правила принятия решения и критерии оптимизации [1]. Исходной информацией для работы системы являются сведения (данные обследования, диагностики) о состоянии мостовых сооружений, поэтому для эффективной работы системы мосты должны быть проверены в определенные промежутки времени. Дефекты, обнаруженные во время обследования, осмотра или диагностики, оценивают по четырехбалльной шкале. При этом, показатель технического состояния сооружения варьируется в диапазоне от очень хорошего – 1 балл до неудовлетворительного – 4 балла. После оценки технического состояния, в рамках данной системы, предусматривается определение приоритетности ремонта мостов. Эта задача решается с использованием модели Крафта. В модели Крафта взаимодействуют четыре критерия: оценка зоны повреждения; тенденция к распространению; воздействие на другие конструктивные элементы; оценка влияния грузоподъемности транспортных средств. На основании этих критериев определяется срочность проведения мероприятий по ремонту. Таким образом, Германская система определяет приоритетность, основываясь на оценке технического состояния моста, и не учитывает другие, например, экономические параметры.

Система NATS, используемая в Великобритании, включает в себя детерминированный и вероятностный подходы к оценке состояния мостовых сооружений, что делает эту систему более гибкой и позволяет принимать корректные

решения. Так, для мостов, относительно недавно введенных в эксплуатацию, используют детерминированный подход, так как они еще не требуют ремонта, а в случаях мостов, требующих ремонта и, соответственно, определения его очередности, в Британской системе NATS задействован вероятностный метод оценки состояния.

В основу системы Pontis, разработанной в США, заложен подход, схожий с методом конечных элементов, только вместо оценки напряженно-деформированного состояния, выполняется оценка технического состояния. Сооружение разбивается на несколько элементов: мостовое полотно, несущие элементы пролетного строения, опоры, фундаменты и т.д. Затем производят оценку вероятности ухудшения технического состояния этих элементов и сооружения в целом с использованием Марковской модели. Такой подход позволяет с высокой точностью определять необходимость и объемы ремонтных работ, но требует значительного количества и качества исходной информации.

В Дании используется система управления мостами под названием Danbro, которая реализует последовательность действий от получения информации о мостах, до реализации принимаемого управленческого решения. Учитывая особенности различных стратегий эксплуатации мостов, система планирует работы по их содержанию и ремонту. Однако данная система не использует математические методы прогнозирования изменения технического состояния конструкций (все строится на экспертных оценках) и не учитывает значимость сооружения [7].

У Финляндской системы SINA интересный подход к прогнозированию затрат. В первую очередь формируется предварительный перечень мостов с прогнозированием затрат на ремонт на основании их технического состояния и возраста, затем производится уточнение стоимости работ уже с учетом прогнозирования долговечности. В результате формируется окончательный перечень мостов, подлежащих ремонту, в рамках установленных бюджетных ограничений. Важным преимуществом такой системы является оценка возраста сооружения, так как возраст объекта – практически единственный объективный показатель его состояния.

Система OA-MeGA, применяемая во Франции, основана на балльной оценке состояния сооружений и приоритетности выполнения работ. Неоспоримым преимуществом системы OA-MeGA является увязка экономического планирования бюджета, выделенного на ремонт, с оценкой последовательности ремонтных работ. Балльная система в показателе приоритетности ремонта моста определяет фактический ранжированный номер для финансирования работ. Определение срочности проведения мероприятий по мосту начинается с оценки повреждения конструкций и определения приведенного показателя повреждения. После чего определяют показатель приоритетности и устанавливается общая по мостовому сооружению оценка. Сравнение данной оценки по этому мосту с другими дает понимание о приоритетности проведения работ на нем.

В Российской Федерации для сети федеральных дорог осуществляется трехуровневая модель системы управления мостами, предложенная «РосдорНИИ» Федеральному дорожному агентству «Росавтодор». Эта система реализована как взаимосвязь мостового сооружения; комплекса информационных технологий, который позволяет создавать, хранить и обрабатывать данные об этом сооружении; процесса принятия решения; а также комплекса средств, обеспечивающих организацию и контроль за реализацией принятых решений [1, 8, 9]. Таким образом, упрощенно эту систему можно представить в виде схемы (рис. 1).

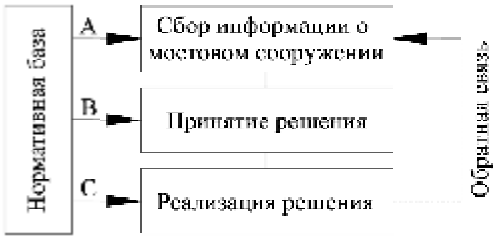



Рис. 1. Принципиальная схема управления эксплуатацией мостов на федеральных дорогах РФ [1]

На уровне «А» системы происходит сбор и повышение достоверности (объективности) информации о мостах, которая заносится в автоматизированную базу данных; а также осуществляется выбор подхода к оценке технического состояния и др. Уровень «В», в свою очередь, отвечает за принятие решений в части определения требуемого режима эксплуатации; за планирование работ по ремонту и реконструкции с обоснованным распределением средств и др. Наконец, уровень «С» осуществляет организацию и контроль за реализацией решений, принятых на уровне «В». Информация о реализованных решениях заносится в базу данных по мостам (уровень «А»).

Некоторые из положений Российской системы могут быть использованы при разработке систем управления региональными мостами. Например, повышение достоверности информации о мостовом сооружении – действительно необходимая операция, так как зачастую, из-за нехватки финансирования, данные о состоянии мостовых сооружений не являются актуальными.

**Основные положения систем управления мостами**

Анализ зарубежного и отечественного опыта использования и разработки систем управления мостами позволяет сформулировать общие требования к таким системам:

1. Система управления мостами должна быть четко связана с системой эксплуатации.
2. Результатом работы системы управления мостами должен стать оптимизированный план содержания мостов в конкретном городе, районе или области.
3. Алгоритмы принятия решений и инструменты контроля должны базироваться на нормативных документах и научных исследованиях.
4. Применяемая система оценки технического состояния должна быть максимально приближенна к объективной оценке.
5. Система управления мостами должна проходить процессы самообучения и адаптации, с анализом последствий использования неоптимальных стратегий.

Таким образом, общая схема функционирования систем управления мостами включает три важнейших этапа:

- сбор информации о мостах и ее анализ;
- определение оптимальной стратегии реализации управленческих решений;
- рациональное распределение финансов на содержание мостов.

**Разработка алгоритма принятия решений**

Перед системами управления мостами на этапе определения приоритетности работ по ремонту мостов могут ставиться различные цели, аналогично системам принятия решений при реконструкции зданий [10]. Эти цели достигаются посредством реализации различных стратегий (программ) ремонта, которые, в свою очередь, формируются благодаря алгоритмам принятия решений.

Целью, актуальной для Республики Татарстан, является обеспечение безопасности и бесперебойности движения транспорта. Добиться этой цели поможет стратегия проведения работ, в первую очередь, на мостах, находящихся в аварийном, предаварийном и неудовлетворительном технических состояниях. Так как эксплуатация сооружений в аварийном состоянии может привести к их скорому разрушению, что, в свою очередь, может повлечь человеческие жертвы и разрыв «транспортной артерии» региона, а эксплуатация сооружений в неудовлетворительном или предаварийном состоянии может повлечь их дальнейший переход в аварийное техническое состояние.

Формировать программу ремонта мостов будет алгоритм, где в первую очередь будет учитываться техническое состояние сооружений, затем – значимость сооружений и стоимость их ремонта. Таким образом, алгоритм принятия решения будет состоять из трех этапов:

- учет технического состояния;
- оценка значимости;
- оценка стоимости работ.

На этапе учета технического состояния мосты группируются по техническому состоянию, при этом преимущество в очередности работ по ремонту будет отдаваться мостам в аварийном состоянии. В случае, если с момента последней диагностики или обследования сооружения прошло более десяти лет, потребуется провести повторную диагностику с целью уточнения технической категории на момент принятия решения. Если сооружение находилось в неудовлетворительном или предаварийном состоянии, тогда существует риск его обрушения, например, при проезде транспортных средств, масса которых превышает ограничение по массе, установленное на мосту, поэтому перед принятием решения необходимо удостовериться в их техническом состоянии посредством проведения экспресс-диагностики. Результатом работы алгоритма на данном этапе является ранжирование мостов по их техническому состоянию, от «аварийных» к «проектным». Однако анализ причин аварий и разрушений мостовых сооружений, проведенный в работе [11], дает нам понимание, что категории технического состояния, установленные нормативными документами, не всегда отражают фактическую вероятность потери несущей способности конструкций мостового сооружения, поэтому необходимо ввести в систему оценки технического состояния категории опасности отклонений, выявленных во время строительства и эксплуатации.

На этапе оценки значимости моста характерным показателем является интенсивность движения транспортных средств по нему. Косвенным показателем, отражающим интенсивность движения, может служить категория автомобильной дороги, на которой расположено сооружение. Однако интенсивность движения транспортных средств на одной дороге, чаще всего бывает разная, так как дорога имеет ответвления и съезды. В алгоритме присутствует оценка значимости сооружения в общей сети автомобильных дорог, которая учитывает расположение мостового сооружения и протяженность автомобильной дороги. Ранжирование мостов по значимости выполняется в рамках групп мостов отобранных по техническому состоянию.

В рамках разработки системы управления региональными мостами определение фактической стоимости выполнения работ по ремонту является трудоемкой задачей, на данном этапе работы, авторами предлагается давать оценку стоимости по площади мостового полотна. В итоге наиболее приоритетными мостами окажутся те, которые имеют наименьшую стоимость ремонтных работ.

Для эффективной работы алгоритма понадобится наличие следующей исходной информации о мостовых сооружениях, находящихся на автомобильных дорогах общего пользования регионального значения:

- наименование сооружения;
- техническое состояние сооружения (аварийное, предаварийное, неудовлетворительное, удовлетворительное, хорошее, проектное);
- год последней диагностики или обследования сооружения;
- категория автомобильной дороги, на которой расположено сооружение;
- протяженность автомобильной дороги, на которой расположено сооружение;
- расположение сооружения на автомобильной дороге;
- площадь мостового полотна.

Результатом работы такого алгоритма будет являться программа ремонта мостов, устанавливающая очередность проведения работ. Учитывая вышеизложенное, было сформировано графическое представление алгоритма принятия решений (рис. 2).

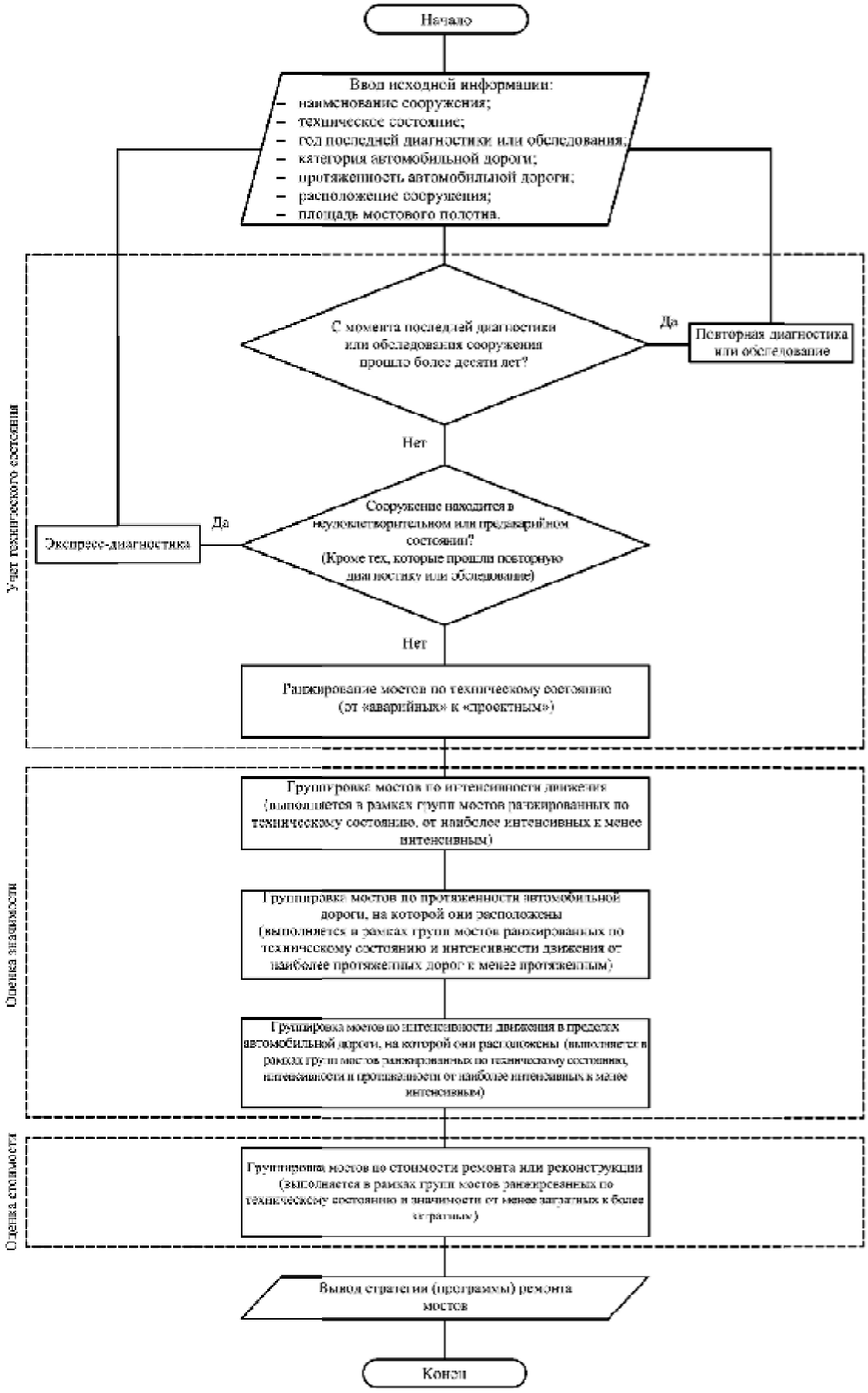



Рис. 2. Алгоритм принятия решений (иллюстрация авторов)

**Заключение**

Рассмотрев подходы к разработке и использованию систем управления мостами, авторы приходят к выводу о том, что в большинстве систем, при определении приоритетности ремонтных работ на стадии принятия решения, не учитывается значимость сооружения. Зарубежный опыт в рамках реализации систем управления мостами может быть использован в качестве полезной информации при разработке регионально-ориентированных систем. Например, при прогнозировании затрат на ремонтные работы можно учитывать возраст моста, как один из объективных показателей состояния, а также можно варьировать подходами содержания новых и старых мостов, что актуально и для наших реалий.

Алгоритм принятия решений, полученный в ходе работы, позволяет формировать эффективную стратегию ремонта, определяющую приоритетность работ в условиях большого количества мостов и ограниченного объема финансирования. Данный алгоритм, помимо технического состояния и стоимости работ, также даёт возможность учитывать и значимость сооружения в сети автомобильных дорог регионального значения.

В ходе работы выяснилось, что существует необходимость усовершенствования системы оценки технического состояния мостовых сооружений, с учетом вероятности их разрушения, а также требуется разработка системы оценки значимости сооружения в сети региональных автомобильных дорог.

**Список библиографических ссылок**

1. Управление состоянием мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России // RAGS.RU : Российский архив государственных стандартов. 2007. URL: https://www.rags.ru/stroyka/text/56251 (дата обращения: 12.05.2019).
2. Нигаматова О. И., Овчинников И. Г. Системы управления состоянием мостовых сооружений // NAUKOVEDENIE.RU : интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2015. Том 7. № 3. URL: http://naukovedenie.ru/PDF/09TVN315.pdf (дата обращения: 12.05.2019).
3. Нигаматова О. И., Овчинников И. Г. Международный опыт применения экспертных систем для оценки состояния мостовых сооружений // NAUKOVEDENIE.RU : интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2016. Том 8. № 1. URL: http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN116.pdf (дата обращения: 12.05.2019).
4. Fruguglietti E., Pasqualato G., Spallarossa E. Bridge Management System implementation in Italy: Pontis and other BMS application in Italy // Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability. 2012. URL: http://www.gruppo-sina.it/pdf/public/GS_1105_FPAP_PDF.pdf (дата обращения: 12.05.2019).
5. Zhai L. Research on Information Maintenance and Management System of Bridge Group over Wei-River : Proceedings of the International Forum on Energy, Environment and Sustainable Development / Hong Kong Industrial Technology Research Centre. Shenzhen, 2016. P. 93–96.
6. Gholamia M., Mohd Sama A., Yatima J. Assessment of Bridge Management System in Iran : dig. of art. of The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering / University of Sebelas Maret. Solo, 2012. P. 573–583.
7. Andersen N. H. Danbro – A Bridge Management System for Many Levels. Dordrecht : Springer, 1990. 187 p.
8. Яшнов А. Н., Зубко А. В. К вопросу о повышении надежности мостовых сооружений на автомобильных дорогах // Дороги и мосты. 2018. № 40. С. 201–210.
9. Рыбалов Ю. В. Автоматизированная информационно-аналитическая система по искусственным сооружениям на автомобильных дорогах // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2 (5). С. 26–135.
10. Сотникова К. Н., Колосова Н. В., Толмачев А. П. Экспертная система принятия решений для реконструкции зданий с учетом принципов «Зеленого строительства» // Международный студенческий научный вестник. 2012. № 1 (6). С. 98–105.

11. Овчинников И. Г., Овчинников И. И., Майстренко И. Ю., Кокодеев А. В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2 // T-S.TODAY : Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2017. № 4. URL: https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf (дата обращения: 12.05.2019).

**Nurmuhametov Karim Alfredovich**
engineer
E-mail: msn1996@mail.ru
**LLC «Region»**
The organization address: 420043, Russia, Elabuga, Mira ave., 14A
**Zinnurov Tagir Almirovich**
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: leongar@mail.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Sadykov Denis Madisovich**
engineer
E-mail: saddentroy@gmail.com
**LLC EC «EnergoRazvitie»**
The organization address: 420126, Russia, Kazan, Kh. Yamashev ave., 57A

## Decision making algorithm in the regional bridges management system

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to consider the features of foreign and domestic bridge management systems and to develop a decision-making algorithm in the regional bridge management system.

*Results.* The study identified the advantages and disadvantages of the considered bridge management systems. Also the algorithm of decision-making allowing to form the effective strategy of repair defining priority of works is developed. This algorithm, in addition to the technical condition and cost of work, also makes it possible to take into account the importance of construction in the network of roads of regional importance.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry is the possibility of developing adaptable regional-oriented bridge management systems that will take into account the peculiarities of the approach to financial management in the region.

**Keywords:** bridge structures, bridge management system, repair priority, database of bridges, decision-making algorithm.

## References

1. Bridge management on the roads of Russia // RAGS.RU : Russian archive of state standards. 2007. URL: https://www.rags.ru/stroyka/text/56251 (reference date: 12.05.2019).
2. Nigamatova O. I., Ovchinnikov I. G. Control systems for the condition of bridges // NAUKOVEDENIE.RU : internet-journal «NAUKOVEDENIE». 2015. Tom 7, № 3. URL: http://naukovedenie.ru/PDF/09TVN315.pdf (reference date: 12.05.2019).
3. Nigamatova O. I., Ovchinnikov I. G. International experience of using expert systems for assessing the state of bridge structures // NAUKOVEDENIE.RU : internet-journal «NAUKOVEDENIE». 2016. Tom 8. № 1. URL: http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN116.pdf (reference date: 12.05.2019).
4. Fruguglietti E., Pasqualato G., Spallarossa E. Bridge Management System implementation in Italy: Pontis® and other BMS application in Italy // Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability. 2012. URL:

http://www.gruppo-sina.it/pdf/public/GS_1105_FPAP_PDF.pdf (reference date: 12.05.2019).
5. Zhai L. Research on Information Maintenance and Management System of Bridge Group over Wei-River : Proceedings of the International Forum on Energy, Environment and Sustainable Development / Hong Kong Industrial Technology Research Centre. Shenzhen, 2016. P. 93–96.
6. Gholamia M., Mohd Sama A., Yatima J. Assessment of Bridge Management System in Iran : dig. of art. of The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering / University of Sebelas Maret. Solo. 2012. P. 573–583.
7. Andersen N. H. Danbro – A Bridge Management System for Many Levels. Dordrecht: Springer, 1990. 187 p.
8. Yashnov A. N., Zubko A. V. On the issue of improving the reliability of bridge structures on highways // Dorogi i mosty. 2018. № 40. P. 201–210.
9. Rybalov Y.V. Automated information and analytical system for artificial structures on highways // SAPR i GIS avtomobilnyh dorog. 2015. № 2 (5). P. 26–135.
10. Sotnikova K. N., Kolosova N. V., Tolmachev A. P. Expert decision-making system for the reconstruction of buildings, taking into account the principles of «green construction» // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. 2012. № 1 (6). P. 98–105.
11. Ovchinnikov I. G., Ovchinnikov I. I., Maystrenko I. Y., Kokodeev A. V. Accidents and destruction of bridges, analysis of their causes. Part 2 // T-S.TODAY : internet-journal «Transportnye sooruzheniya». 2017. № 4. URL: https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf (reference date: 12.05.2019).

УДК 624.041
**Гришин Илья Валерьевич**
ассистент
E-mail: il6357grishin@yandex.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
**Пискунов Александр Алексеевич**
доктор технических наук, профессор
E-mail: a.piskunov52@mail.ru
**Институт пути, строительства и сооружений РУТ (МИИТ)**
Адрес организации: 127055, Россия, г. Москва, Минаевский пер., д. 2

# Моделирование процесса деформирования асфальтобетонных покрытий мостов при температурном воздействии

**Аннотация**

*Постановка задачи*. Цель исследования – моделирование процесса деформирования асфальтобетонных покрытий мостов при температурном воздействии. Разработка модели была вызвана необходимостью оценки влияния температурных напряжений на напряженно-деформированное состояние асфальтобетонных покрытий мостов при наиболее простых расчетных схемах. Выбор осуществлялся по критерию соответствия результатам численного моделирования.

*Результаты*. В результате сравнения аналитических решений, полученных с помощью предложенных моделей, с результатами численного моделирования, были сделаны выводы:

- растягивающие напряжения достигают своего максимума в верхней фибре слоя асфальтобетона;
- температурные напряжения возрастают от края к центру плиты;
- увеличение напряжений, вызванное неравномерным распределением температуры по толщине асфальтобетона, не превышает 7 % в упругой постановке и с учетом релаксации напряжений может не браться в расчет;
- увеличение жесткости основания слоя асфальтобетона в 1000 раз приводит к увеличению максимальных напряжений не более чем на 10 % в упругой постановке, что, с учетом релаксации напряжений, дает основание использовать выбранную модель, как для металлических, так и для железобетонных мостов.

*Выводы*. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности более полного понимания причин разрушения асфальтобетонных покрытий мостов и, соответственно, возможности учета этих факторов при назначении толщины и физико-механических параметров покрытий.

**Ключевые слова:** термонапряженное состояние многослойных плит, гипотеза равномерных деформаций, гипотеза наклонной, гипотеза ломаной, численное моделирования термонапряженного состояния.

## Введение

Рядом авторов отмечается важность анализа состояния мостового полотна и причин дефектов, возникающих в них [1, 2]. Одной из причин является разница между коэффициентами температурного расширения-сжатия асфальтобетона и жесткого основания, представленного металлической плитой проезжей части или железобетонной плитой, в зависимости от материала пролетного строения. Учитывая длительность и периодический характер действия нагрузки в такой конструкции, являющейся многослойной плитой, в асфальтобетоне будут происходить процессы релаксации напряжений, вызванные ползучестью, и может происходить накапливание повреждений, как показано в [3-6] и в работах авторов.

Одной из задач для оценки влияния температурных напряжений является разработка расчетной модели термонапряженной многослойной плиты. Существуют

различные подходы, к решению данной задачи [7-10]. Ранее авторами были подробно описаны уравнения и способ их использования, позволяющие это сделать. Уравнения имеют следующий вид, и каждое предполагает использование определенной гипотезы, более подробно описанной в прошлых работах.

Модель с использованием гипотезы равномерных по высоте полных деформаций, с напряжениями, определяемыми по следующему уравнению (гипотеза равномерных деформаций):

$$\sigma_i(y)=E_i\cdot c - E_i\cdot\alpha_i\cdot\Delta T_i(y). \quad (1)$$

Модель с использованием гипотезы линейно изменяющихся по высоте всей многослойной плиты деформаций, с напряжениями, определяемыми по следующему уравнению (гипотеза наклонной):

$$\sigma_i(y)=E_i\cdot(a\cdot x+b) - E_i\cdot\alpha_i\cdot\Delta T_i(y). \quad (2)$$

Модель с использованием гипотезы линейно изменяющихся различных для каждого слоя деформаций (гипотеза ломаной):

$$\sigma_{zz}^{(i)}(z,y) = E_i\cdot\varepsilon_{zz}^{(i)}(z,y) - E_i\cdot\alpha_i\cdot\Delta T_i(y), \quad (3)$$

$$\varepsilon_{zz}^{(i)}(z,y) = \frac{\partial u^{(i)}(y,z)}{\partial z} = U_i^{`}(z)\cdot\frac{-y+y_{i+1}}{h_i} + U_{i+1}^{`}(z)\cdot\frac{y-y_i}{h_i}. \quad (4)$$

Для определения влияния температурного фактора с помощью уравнений (1)-(4) и моделирования в ANSYS, рассматривался участок ортотропной плиты, с защитно-сцепляющим слоем и слоем асфальтобетона, уложенными на него (рис. 1).

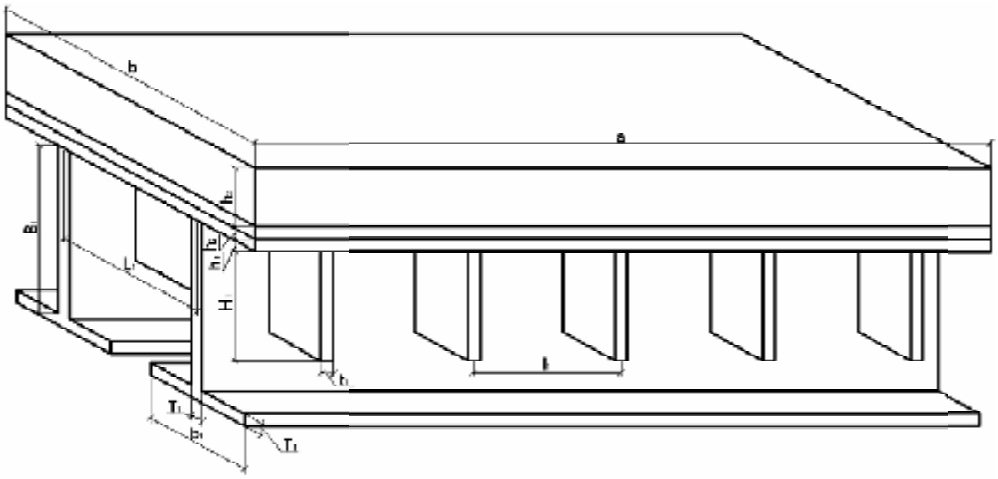



Рис. 1. Геометрические параметры участка ортотропной плиты (иллюстрация авторов)

При этом принимались следующие физико-механические параметры материалов:

- Асфальтобетон.

Модуль упругости: $E_{аб}=14{,}5\cdot10^2$ МПа. Коэффициент Пуассона: $\mu_{аб}=0{,}07$. Коэффициент температурного расширения-сжатия: $\alpha_{аб}=3{,}5\cdot10^{-5}\,\frac{1}{°C}$.

- Защитно-сцепляющий слой (приняты характеристики битума, как одного из основных компонентов рулонного материала).

Модуль упругости: $E_{зс}=50{,}1$ МПа. Коэффициент Пуассона: $\mu_{зс}=0{,}07$. Коэффициент температурного расширения-сжатия: $\alpha_{зс}=2\cdot10^{-4}\,\frac{1}{°C}$.

- Металл ортотропной плиты.

Модуль упругости: $E_{ме}=2{,}06\cdot10^5$ МПа. Коэффициент Пуассона: $\mu_{ме}=0{,}3$. Коэффициент температурного расширения-сжатия: $\alpha_{ме}=1\cdot10^{-5}\,\frac{1}{°C}$.

**Влияние жесткости основания и неравномерного распределения температуры по толщине асфальтобетона на его термонапряженное состояние**

Для определения влияния данных параметров осуществлялось моделирование в программном комплексе ANSYS с использованием 8 узлового элемента QUAD 8 NODE.

Средний размер стороны элемента был равен 0,01 м. При этом рассматривалось 3 случая нагружения:

1. При равномерном перепаде температуры во всех узлах равном -60 ℃.

2. Температурный перепад узлов ортотропной плиты и защитно-сцепляющего слоя равен -60 ℃, а перепад по толщине асфальтобетона задан по закону параболы в соответствии со схемой на рис. 2.

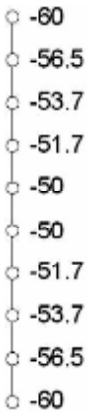



Рис. 2. Схема перепада температур по толщине асфальтобетона (иллюстрация авторов)

3. При равномерном перепаде температуры во всех узлах равном -60 ℃, но модуль упругости материала ортотропной плиты увеличен в 1000 раз.

Кроме того варьировались геометрические параметры ортотропной плиты:

A. Набор параметров: a=1,8 м; b=12 м; $l_1$=0,3 м; $t_1$=0,3 м; $H_1$=0,13 м.

B. Набор параметров: a=5 м; b=11 м; $l_1$=0,4 м; $t_1$=0,012 м; $H_1$=0,15 м.

C. Набор параметров: a=5 м; b=20 м; $l_1$=0,4 м; $t_1$=0,012 м; $H_1$=0,15 м.

Ниже в табл. 1-3 представлены результаты расчета в ANSYS при геометрических параметрах A, B, C, соответственно, для середины ортотропной плиты. При этом без скобок – для случая загружения 1, в фигурных скобках – для случая загружения 2, в круглых скобках – для случая загружения 3.

Таблица 1

| № точки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Нормальные напряжения, МПа | 2,1 (2,32) {2,15} | 2,1 (2,29) {2,15} | 2,1 (2,17) {2,15} | 2,13 (2,32) {1,62} | 2,13 (2,29) {1,62} | 2,1 (2,19) {1,59} | 1,39 (1,46) {1,41} | 1,39 (1,45) {1,41} | 1,39 (1,48) {1,41} |

Таблица 2

| № точки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Нормальные напряжения, МПа | 2,24 (2,32) {2,34} | 2,24 (2,29) {2,34} | 2,14 (2,17) {2,20} | 2,25 (2,32) {1,81} | 2,25 (2,29) {1,81} | 2,13 (2,19) {1,71} | 1,44 (1,46) {1,32} | 1,43 (1,45) {1,32} | 1,44 (1,48) {1,33} |

Таблица 3

| № точки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Нормальные напряжения, МПа | 2,27 (2,42) {2,37} | 2,26 (–) {2,36} | 2,14 (2,32) {2,26} | 2,26 (2,32) {–} | 2,26 (–) {1,82} | 2,14 (1,77) {1,72} | 1,44 (1,47) {1,32} | 1,44 (–) {–} | 1,44 (1,47) {1,34} |

Цифры, нумерующие столбцы таблиц, соответствуют точкам, в которых определялись напряжения (рис. 3).

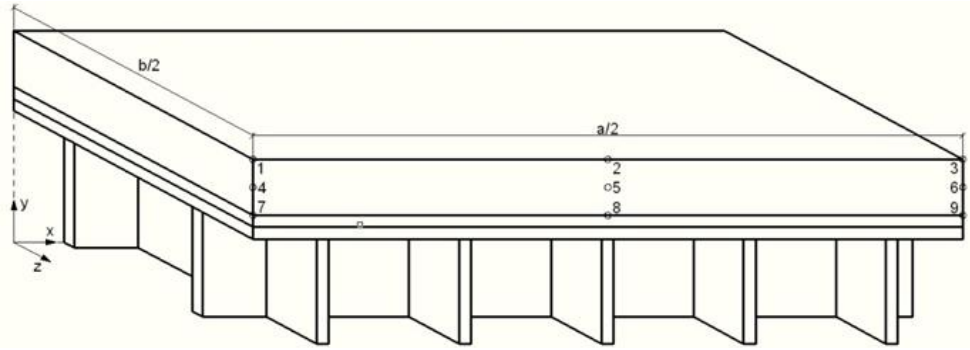



Рис. 3. Нумерация узлов для определения напряжений (иллюстрация авторов)

По результатам численного расчета методом конечных элементов (МКЭ) можно сделать следующие выводы:

1) Поскольку нас интересуют максимальные напряжения, для сравнения расчетных моделей с результатами расчета МКЭ будем рассматривать только максимальные предсказываемые напряжения. При этом предполагается, что максимальные напряжения по длине плиты возникают в её центре.

2) Можно видеть, что растягивающие напряжения при случае загружения 1, достигают максимума в верхней половине слоя асфальтобетона. При увеличении жесткости основания напряжения в верхней фибре постепенно начинают превышать напряжения в центре слоя. Поэтому предлагается, ради возможности применения полученных результатов для более широкого класса конструкций с различными жесткостями оснований, считать, что напряжения в общем случае достигают своего максимума в верхней фибре асфальтобетона.

3) Напряжения возрастают от края к центру плиты, как показано на рис. 4.

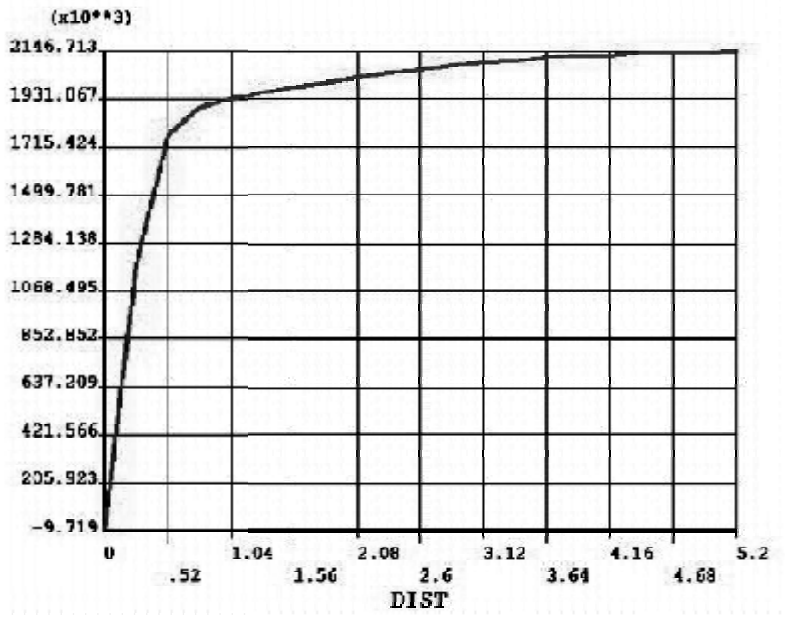



Рис. 4. Изменение напряжений по длине ортотропной плиты (иллюстрация авторов)

4) Напряжения в верхней фибре, возникающие от неравномерности распределения температуры по высоте слоя асфальтобетона, отличаются от нижележащих слоев не более чем на 7 %. С учетом релаксации напряжений этот процент сильно уменьшится. По этой причине данный фактор можно в дальнейшем не учитывать.

5) Увеличение жесткости основания в 1000 раз приводит к увеличению напряжений в верхней фибре асфальтобетона не более чем на 10 %.

**Обоснование расчетной модели термонапряженного состояния асфальтобетона**

На основе вышеприведенного анализа будем выбирать расчетную модель на основе сравнения напряжений, возникающих в верхней фибре асфальтобетона, т.е. максимальных напряжений. Объясняется это тем, что дальнейшей нашей целью будет попытка спрогнозировать начало процесса разрушения, который возникает именно в месте появления максимальных напряжений.

Ниже в табл. 4 приведены отличия результатов, полученных с помощью гипотезы ломаной и гипотезы наклонной от результатов, полученных с помощью МКЭ. Можно видеть, что гипотеза ломаной лучше описывает термонапряженное состояние в упругой постановке, но не более чем на 4 % при описанных параметрах.

Таблица 4

| | Отличие гипотезы ломаной от МКЭ | Отличие гипотезы наклонной от МКЭ |
|---|---|---|
| Отличие максимальных напряжений при различных геометрических параметрах ортотропной плиты | 8,4 % | 12 % |
| Отличие максимальных напряжений при увеличении модуля упругости металла ортотропной плиты в 1000 раз | 10 % | 10 % |
| Отличие максимальных напряжений при увеличении модуля упругости асфальтобетона в 10 раз | 1,5 % | 2,5 % |
| Отличие максимальных напряжений при уменьшении модуля упругости асфальтобетона в 10 раз | 4 % | 4 % |
| Отличие максимальных напряжений при увеличении толщины асфальтобетона на 0,05 м | 2 % | 7 % |
| Отличие максимальных напряжений при уменьшении толщины асфальтобетона на 0,03 м | 6 % | 6 % |

В табл. 5 представлено аналогичное сравнение гипотезы наклонной с гипотезой равномерных деформаций. Можно видеть, что гипотеза равномерных деформаций лучше описывает термонапряженное состояние асфальтобетона при этом являясь намного более простой для реализации. Поэтому в дальнейшем предлагается в качестве основной расчетной модели использовать именно ее.

Таблица 5

| | Отличие гипотезы равномерных деформаций от МКЭ | Отличие гипотезы наклонной от МКЭ |
|---|---|---|
| Отличие максимальных напряжений при различных геометрических параметрах ортотропной плиты | 8,4 % | 12 % |
| Отличие максимальных напряжений при увеличении модуля упругости металла ортотропной плиты в 1000 раз | 10 % | 10 % |
| Отличие максимальных напряжений при увеличении модуля упругости асфальтобетона в 10 раз | 1,5 % | 2,5 % |
| Отличие максимальных напряжений при уменьшении модуля упругости асфальтобетона в 10 раз | 4 % | 4 % |
| Отличие максимальных напряжений при увеличении толщины асфальтобетона на 0,05 м | 2 % | 7 % |
| Отличие максимальных напряжений при уменьшении толщины асфальтобетона на 0,03 м | 6 % | 6 % |

**Заключение**

Таким образом, можно сделать вывод, что максимальные температурные напряжения в асфальтобетоне возникают на уровне центра пролетного строения и в

верхней фибре слоя асфальтобетона. Для оценки начала процесса разрушения была выбрана расчетная модель, использующая гипотезу равномерных деформаций, выбранная по критерию сравнения максимальных напряжений, получаемых с помощью данной гипотезы и с помощью МКЭ. Данная модель дает возможность принимать различные жесткости плиты пролетного строения и предполагает возможность изменения количества слоев и их жесткосных характеристик. Следует отметить, что это справедливо только для температурных напряжений, поскольку, при появлении изгибных деформаций, картина полностью поменяется, поэтому для таких случаев необходимо разрабатывать отдельную модель. В дальнейшем к данной расчетной модели можно применить, разработанную нами, модель ползучести асфальтобетона и спрогнозировать величину, появляющихся в нем, температурных напряжений. Применяя к этим напряжениям теорию накопления повреждений, являющуюся, правда, недоработанной для асфальтобетона, можно спрогнозировать появление первых трещин вызванных именно температурным фактором. Однако на эти результаты будет накладываться динамическое влияние колеса, поэтому разрабатываемая модель не применима отдельно от моделей, учитывающих эти динамические воздействия и, вероятно, воздействия старения асфальтобетона.

## Список библиографических ссылок


1. Сравнительный анализ применяемых конструкций дорожной одежды мостовых сооружений обхода г. Сочи, сданных в эксплуатацию до начала строительства Олимпийских объектов. Часть 2. Основные повреждения дорожной одежды мостового полотна // naukovedenie.ru : интернет-журнал. 2014. URL: https://naukovedenie.ru/PDF/39KO514.pdf (дата обращения: 20.09.2019).
2. Иванов Г.П., Еремеев А.В. Напряженно-деформированное состояние асфальтобетонных покрытий на мостовых сооружениях при сжатии от температурных деформаций : сб. ст. международной научно-практической конференции 15-16 января 2016 года г. Санкт-Петербург, СПб, 2016. С. 173–175.
3. Assessment of Thermal Stresses in Asphalt Mixtures at Low Temperatures Using the Tensile Creep Test and the Bending Beam Creep Test // mdpi.com/journal/applsci : интернет-журнал. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/331374349_Assessment_of_Thermal_Stresses_in_Asphalt_Mixtures_at_Low_Temperatures_Using_the_Tensile_Creep_Test_and_the_Bending_Beam_Creep_Test (дата обращения: 20.09.2019).
4. Linking asphalt binder fatigue to asphalt mixture fatigue performance using viscoelastic continuum damage modeling // link.springer.com/journal/11043 : интернет-журнал. 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/300374818_Linking_asphalt_binder_fatigue_to_asphalt_mixture_fatigue_performance_using_viscoelastic_continuum_damage_modeling (дата обращения: 20.09.2019).
5. Unified Construction of Dynamic Rheological Master Curve of Asphalts and Asphalt Mixtures // researchgate.net : интернет-журнал. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/319956810_Unified_Construction_of_Dynamic_Rheological_Master_Curve_of_Asphalts_and_Asphalt_Mixtures.
6. Use of Viscoelastic Continuum Damage Theory to Correlate Fatigue Resistance of Asphalt Binders and Mixtures // researchgate.net : интернет-журнал. 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/327767356_Use_of_Viscoelastic_Continuum_Damage_Theory_to_Correlate_Fatigue_Resistance_of_Asphalt_Binders_and_Mixtures
7. Иванов Г. П., Мухаметханов Р. И. Оценка трещиностойкости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : сб. ст. второго всероссийского дорожного конгресса, Москва, 2010. С. 212–215.
8. Щербаков А. Г. О расчетной оценке напряженно-деформированного состояния покрытий на мостовых сооружениях : сб. ст. международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика», Пенза, 2002. С. 457–462.

9. Litao G., Xiaoying W., Qian X. Thermal stress of asphalt pavement based on dynamic characteristics of asphalt mixtures // International Journal of Pavement Research and Technology. 2016. Vol.9. Issue 5. P. 263–367.
10. Xue Q., Liu L., Zhao Y., Chen Y., Li J. Dynamic behavior of asphalt pavement structure under temperature-stress coupled loading // Applied Thermal Engineering. 2013. Vol. 53. Issue 1. P. 1–7.

**Grishin Ilya Valerievych**
assistant
E-mail: il6357grishin@yandex.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Piskunov Aleksandr Alekseevich**
doctor of technical sciences, professor
E-mail: a.piskunov52@mail.ru
**Institute of roads, buildings and structures of Russian institute of transport**
The organization address: 127055, Russia, Moscow, Minaevsky per., 2

## Modeling the process of deformation of asphalt concrete pavement of bridges under temperature exposure

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to simulate the process of deformation of asphalt concrete pavements of bridges under temperature exposure. The development of the model was caused by the need to assess the effect of temperature stresses on the stress-strain state of asphalt concrete pavement of bridges with the simplest design schemes. The selection was made according to the criterion of compliance with the results of numerical modeling.

*Results.* As a result of comparing the analytical solutions obtained using the proposed models with the results of numerical modeling, the following conclusions were made:

- tensile stresses reach their maximum in the upper fiber of the asphalt concrete layer;
- thermal stresses increase from the edge to the center of the plate;
- an increase in stresses caused by an uneven temperature distribution over the thickness of asphalt concrete does not exceed 7 % in the elastic setting and, taking into account stress relaxation, may not be taken into account;
- an increase in the rigidity of the base of the asphalt concrete layer by a factor of 1000 leads to an increase in maximum stresses of no more than 10 % in the elastic setting, which, taking into account the relaxation of stresses, gives reason to use the selected model for both metal and reinforced concrete bridges.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry lies in the possibility of a more complete understanding of the causes of the destruction of asphalt pavement of bridges and, accordingly, the possibility of taking these factors into account when assigning the thickness and physico-mechanical parameters of asphalt pavements.

**Keywords:** thermally stressed state of multilayer plates, uniform deformation hypothesis, inclined hypothesis, broken line hypothesis, numerical simulation of thermally stressed state.

## References

1. Comparative analysis of applied pavement constructions of bridge structures bypassing the city of Sochi, put into operation before the start of construction of Olympic facilities. Part 2. The main damage to the pavement of the bridge // naukovedenie.ru : internet-journal. 2014. URL: https://naukovedenie.ru/PDF/39KO514.pdf (reference date: 20.09.2019).
2. Ivanov G. P., Eremeev A. V. The stress-strain state of asphalt concrete pavements on bridge structures under compression from temperature deformations : dig. of art. of

international scientific-practical conference on January 15-16 of 2016 in St. Petersburg, SPb, 2016. P. 173–175.
3. Assessment of Thermal Stresses in Asphalt Mixtures at Low Temperatures Using the Tensile Creep Test and the Bending Beam Creep Test // mdpi.com/journal/applsci : internet-journal. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/331374349_Assessment_of_Thermal_Stresses_in_Asphalt_Mixtures_at_Low_Temperatures_Using_the_Tensile_Creep_Test_and_the_Bending_Beam_Creep_Test (reference date: 20.09.2019).
4. Linking asphalt binder fatigue to asphalt mixture fatigue performance using viscoelastic continuum damage modeling // link.springer.com/journal/11043 : internet-journal. 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/300374818_Linking_asphalt_binder_fatigue_to_asphalt_mixture_fatigue_performance_using_viscoelastic_continuum_damage_modeling (reference date: 20.09.2019).
5. Unified Construction of Dynamic Rheological Master Curve of Asphalts and Asphalt Mixtures // researchgate.net : internet-journal. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/319956810_Unified_Construction_of_Dynamic_Rheological_Master_Curve_of_Asphalts_and_Asphalt_Mixtures (reference date: 20.09.2019).
6. Use of Viscoelastic Continuum Damage Theory to Correlate Fatigue Resistance of Asphalt Binders and Mixtures // researchgate.net : internet-journal. 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/327767356_Use_of_Viscoelastic_Continuum_Damage_Theory_to_Correlate_Fatigue_Resistance_of_Asphalt_Binders_and_Mixtures (reference date: 20.09.2019).
7. Ivanov G. P., Mukhametkhanov R. I. Assessment of crack resistance of asphalt concrete pavements of automobile roads : dig. of art. of the Second all-Russian road congress, Moscow, 2010. P. 212–215.
8. Shcherbakov A.G. About the estimated assessment of the stress-strain state of coatings on bridge structures : dig. of art. of International scientific technical conference «Effective building constructions: theory and practice», Penza, 2002. P. 457–462.
9. Litao G., Xiaoying W., Qian X. Thermal stress of asphalt pavement based on dynamic characteristics of asphalt mixtures // International Journal of Pavement Research and Technology. 2016. Vol. 9. Iss. 5. P. 263–367.
10. Xue Q., Liu L., Zhao Y., Chen Y., Li J. Dynamic behavior of asphalt pavement structure under temperature-stress coupled loading // Applied Thermal Engineering. 2013. Vol. 53. Iss. 1. P. 1–7.

УДК 539.3
**Хамитов Тагир Камилевич**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: tagirkx@yandex.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
**Хайруллин Булат Тахирович**
главный инженер
E-mail: b.khairullin@skjbs.ru
**ООО «ЖБС инжиниринг»**
Адрес организации: 420081, Россия, г. Казань, ул. Г. Кариева, д. 10
**Аюпов Инсаф Ильгамович**
ведущий специалист
E-mail: fridern@gmail.com
**ООО «Идельдорпроект»**
Адрес организации: 420029, Россия, г. Казань, ул. Дружбы, д. 14

# Расчет несущей способности дымовой трубы при демонтаже

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – оценка прочности железобетонной дымовой трубы при демонтаже методом валки.

*Результаты.* Представлены результаты моделирования потери несущей способности монолитной железобетонной дымовой трубы при демонтаже методом направленной валки. Приводятся два варианта расчета для определения размера проема в стволе трубы: а) труба рассматривается как внецентренно-сжатая упругая колонна; б) труба моделировалась как тонкая коническая оболочка переменного сечения в пакете ЛИРА. Исследовалось напряженно-деформированное состояние трубы в зависимости от ширины проема в стволе от собственного веса, а также с учетом натяжения 17 т от экскаватора. Расчеты выполнялись как в геометрически и физически линейной постановке, так и с учетом нелинейности. Проект производства работ для демонтажа дымовой трубы был составлен с учетом результатов выполненных расчетов и рекомендаций.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в разработке рекомендаций для безопасного демонтажа дымовых труб и других подобных высотных сооружений.

**Ключевые слова:** дымовая труба, демонтаж, валка, ширина проема, ствол трубы.

## Введение

В связи с реконструкцией отделения спекания предприятия АО «Метахим», расположенного по адресу: Ленинградская область, г. Волхов, Кировский проспект, д. 20, возникла необходимость в сносе монолитной железобетонной дымовой трубы (рис. 1а). Труба высотой 120 м была введена в эксплуатацию в 1952 г. Демонтаж трубы до отметки +68.000 м производился альпинистами методом последовательной разборки (рис. 1б). В непосредственной близости от демонтируемой трубы находились здания предприятия, поэтому валку трубы требовалось производить направленно. Возможный сектор валки составлял не более 45º (рис. 2). Сроки, поставленные Заказчиком перед строительной организацией, выполняющей демонтаж трубы, не позволяли применить метод взрыва [1, 2] в связи с долгой процедурой получения разрешительной документации от уполномоченных служб и более высокой стоимостью работ. Перед строителями возникла проблема в обосновании расчетами размера проема в стволе трубы для ее валки.

Ствол трубы по высоте имеет форму усеченного конуса с уклоном образующей наружной грани ствола 1,5 %. Класс бетона ствола трубы – В15. Фундамент трубы – из монолитного железобетона, круглый в плане. Диаметр фундамента – 20 м, глубина заложения – 2,9 м. Собственный вес бетона трубы вместе с футеровкой – 1500 т. Железобетонный ствол имеет следующие геометрические размеры: высота – 68 м,

внешний радиус у основания – 5,26 м, внутренний – 4,86 м. Толщина ствола на высоте 0-10 м составляет 0,42 м, на высоте 10-17,5 м – 0,37 м, на высоте 17,5-30 м – 0,35 м, на высоте 30-40 м – 0,32 м, на высоте 40-50 м – 0,3 м, на высоте 50-60 м – 0,27 м, на высоте 60-68 м – 0,25 м. На отметке ±0.000 м в стволе выполнены два проема для газоходов, на высоте 5-7 м выполнено круглое технологическое отверстие диаметром 2,5 м (рис. 1в). Перед началом работ предполагается отбить защитный слой бетона и срезать рабочую арматуру по периметру ствола на отметке проема.

а)

б)

в)

г)

Рис. 1. Общие виды дымовой трубы:
а) до начала демонтажа; б) после разборки ствола до отм. +68.000 м;
в) расширение проема в стволе с помощью гидромолота; г) падение трубы от собственного веса
(иллюстрация авторов)

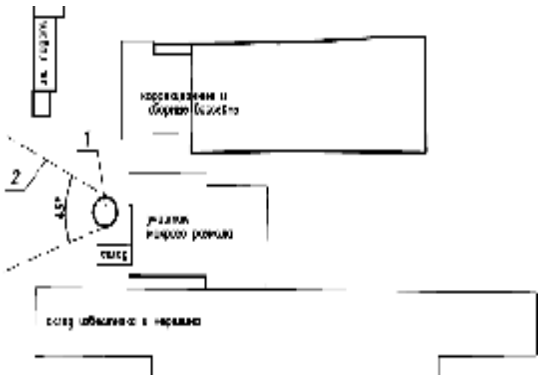



Рис. 2. Генплан площадки демонтажа трубы:
1 – обрушаемая труба; 2 – граница сектора валки трубы с углом 45º (иллюстрация авторов)

В сети интернет можно найти много видеоматериала по обрушению дымовых труб. В научной и нормативной литературе также имеется много работ, посвященных демонтажу сооружений методом взрыва [1-9]. Однако в них отсутствует методика расчета прочности конструкций при их обрушении. В данной работе предпринята попытка расчета предельной несущей способности трубы с целью определения необходимого размера проема в стволе. Вопрос сейсмического эффекта от падения трубы на расположенные вблизи сектора валки здания не рассматривается.

**Расчет трубы как внецентренно сжатой колонны.**

Трубу рассмотрим как жестко заделанную бетонную колонну тонкостенного сечения при внецентренном сжатии от собственного веса $P$ = 1500 т (рис. 3а). Определим угол $\alpha$ или ширину $l$ проема в стволе (рис. 3б) в предположении упругой работы бетона из условий прочности:

$$\frac{Pe}{W_p} - \frac{P}{A} \le R_{btn}, \quad (1)$$

$$\frac{Pe}{W_c} + \frac{P}{A} \le R_{bn}, \quad (2)$$

где $A=2rt\alpha$ – площадь ослабленного сечения;

$t$ = 0,4 м, $r$ = 5,06 м – толщина и средний радиус ствола у основания;

$e = r\frac{\sin\alpha}{\alpha}$ – эксцентриситет приложения нагрузки $P$ (координата центра тяжести сечения);

$W_p = \frac{J_x}{r - e}$ – момент сопротивления растянутой зоны сечения;

$W_c = \frac{J_x}{e - r\cos\alpha}$ – момент сопротивления сжатой зоны сечения;

$J_x = 0,5tr^3\left(2\alpha + \sin 2\alpha - \frac{4}{\alpha}\sin^2\alpha\right)$ – наименьший момент инерции сечения;

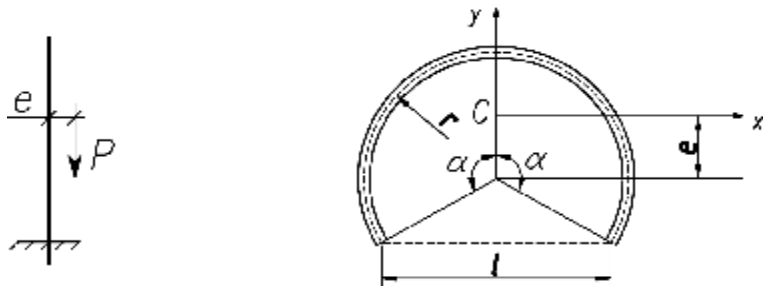
$R_{bn}$ = 11 МПа, $R_{btn}$ = 1,15 МПа – нормативные сопротивления бетона класса В15 на сжатие и растяжение.

Условия (1) и (2) с учетом вышеприведенных формул примут вид:

$$\sin\alpha\left(1 - \frac{\sin\alpha}{\alpha}\right) = \left(0,25 + \frac{a}{\alpha}\right)\left(2\alpha + \sin 2\alpha - \frac{4}{\alpha}\sin^2\alpha\right), \quad (3)$$

$$b(\alpha - \sin\alpha\cos\alpha) = \alpha\left(2\alpha + \sin 2\alpha - \frac{4}{\alpha}\sin^2\alpha\right), \quad (4)$$

где $a = \frac{2P}{R_{btn}tr} \approx 12,89$, $b = \frac{P}{R_{bn}tr} \approx 0,674$.




а) б)

Рис. 3. К расчету ствола трубы:
а) расчетная схема; б) сечение трубы у основания (иллюстрация авторов)

Решая численно нелинейные уравнения (3) и (4), находим два значения для углов $\alpha_1$ = 106º и $\alpha_2$ = 93,5º. За расчетное значение принимаем наибольший $\alpha$ = 106º, что означает разрушение бетона в растянутой зоне сечения. Ширина проема:

$$l=2r\sin\alpha=9{,}73 \text{ м}.$$

**Результаты моделирования на ПК ЛИРА**

Расчетная схема трубы принималась как тонкая коническая оболочка переменного сечения. В пакете ЛИРА исследовалось напряженно-деформированное состояние (НДС) от собственного веса трубы в зависимости от ширины проема в стволе, а также с учетом натяжения 17 т от экскаватора. Ветровая нагрузка не учитывалась. Задача решалась как в геометрически и физически линейной постановке, так и с учетом нелинейности. За критерий разрушения бетона принималось достижение в бетоне нормативных сопротивлений в сжатой либо растянутой зонах. Некоторые результаты расчета представлены на рис. 4.

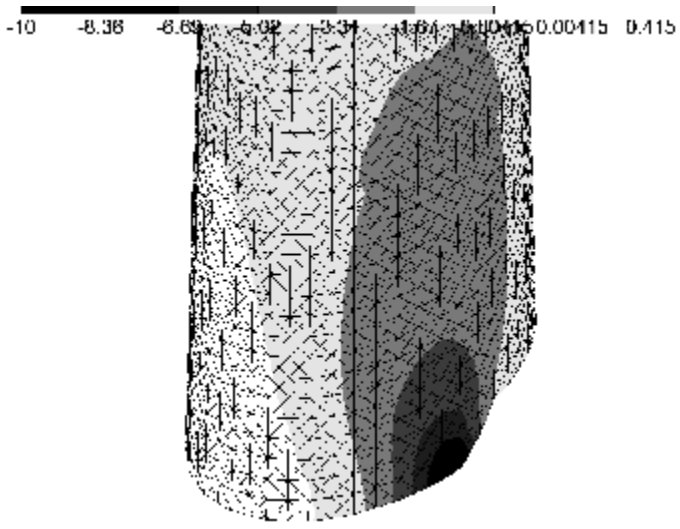



Рис. 4. Изополя нормальных напряжений в стволе трубы
в геометрически и физически линейной постановке (иллюстрация авторов)

На изополях нормальных напряжений видно, что разрушение бетона ствола происходит в сжатой зоне – наибольшая концентрация напряжений образуется у границы проема. Расчеты показали, что натяжение троса от экскаватора весьма незначительно влияет на НДС трубы, поэтому применить натяжение можно непосредственно перед валкой. В таблице приведено сравнение максимальных нормальных напряжений в стволе в зависимости от ширины проема для двух расчетных моделей.

Таблица

| Расчетная модель трубы | Ширина проема, м | Максимальные Напряжения в сжатой зоне сечения, МПа | Максимальные Напряжения в растянутой зоне сечения, МПа |
|---|---|---|---|
| Упругая балка | 9,73 | 7,2 | 1,15 |
| Оболочка в геометрически и физически линейной постановке | 10,03 | 10,26 | 0,16 |
| Оболочка в геометрически и физически нелинейной постановке | 9,95 | 11,02 | 0,41 |

**Результаты обрушения трубы**

Расширение проема в стволе производилось с помощью экскаватора с гидромолотом, крен верхнего конца трубы контролировался с помощью теодолита. Рабочая арматура по периметру ствола полностью срезалась с помощью газовой резки. Непосредственно перед валкой площадь сечения трубы составляла 40 % от первоначальной площади. Горизонтальное отклонение верхнего конца трубы к началу валки составляло около 0,19 м. Для предотвращения разрушения подземных коммуникаций и уменьшения сейсмического эффекта на ближайшие здания на площадке падения были выполнены насыпи из грунта высотой 1-3 м для амортизации удара. В результате труба обрушилась с небольшим отклонением от предполагаемого направления в пределах участка валки (рис. 1г). Повреждения подземных коммуникаций и трещины на стенах зданий, расположенных вблизи сектора валки, не зафиксированы.

**Заключение**

По результатам выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Фактическая ширина проема в стволе трубы оказалась больше расчетного значения примерно на 10 %. Основными факторами, влияющими на отклонение теории и опыта, видимо, являются фактическая прочность бетона и реальные геометрические характеристики сечения ствола трубы.

2. При расчете прочности дымовых труб и других подобных высотных сооружений при демонтаже методом валки за расчетную схему следует принять оболочечную модель.

**Список библиографических ссылок**


1. Ельшин А. М., Ижорин М. Н., Жолудев В. С., Овчаренко Е. Г. Дымовые трубы. М. : Стройиздат, 2001. 296 с.
2. Зеленин М. Ю., Хабибулин В. Р., Гущенко Д. Е., Барон В. Л., Ганопольский М. И. Взрывные работы по направленному обрушению железобетонной трубы высотой 150 метров в г. Ижевск (Удмуртия) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 6. С. 149–160.
3. Лазутин Н. В., Матвеев Ю. В., Мартыненко Г. Н. Причины обрушения дымовой железобетонной трубы № 3 Березниковской ТЭЦ-2 // Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. 2015. № 5. С. 73–75.
4. ООО «УСЭР-Инжиниринг» // URL: http://www.user-ekb.ru/index.php?main=newsmain&id=100012&pg=2 (дата обращения: 11.07.2019).
5. MATEC Web of Conferences 170, 03019 (2018) // URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/201817003019 (дата обращения: 04.07.2019).
6. Мирсаяпов Ильшат Т., Тамразян А. Г. К разработке научных основ теории выносливости железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 1. С. 50–56.
7. Мирсаяпов Ильшат Т., Тамразян А. Г. К расчету железобетонных конструкций на выносливость // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 19–23.

8. Соколов Б. С., Антаков А. Б. Прочность бетона при смятии // Архитектура и строительство. 2010. № 4. С. 75–78.
9. Etkin M. B., Azarkovich A. E., Etkin A. M. Systems approach to safety of preservable entities in the planning blasting operations // Power Technology and Engineering. 2001. vol. 35. № 10. P. 535–544.
10. Bayliss C. R., Langley K. F. Dismantling Techniques // Nuclear Decommissioning, Waste Management, and Environmental Site Remediation. 2003. P. 99–111.

**Khamitov Tagir Kamilevich**
candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: tagirkx@yandex.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
**Khairullin Bulat Tahirovich**
chief engineer
E-mail: b.khairullin@skjbs.ru
**OOO «JBS engineering»**
The organization address: 420081, Russia, Kazan, G. Kariev st., 10
**Ayupov Insaf Ilhamovich**
leading specialist
E-mail: fridern@gmail.com
**OOO «Ideldorproject»**
The organization address: 420029, Russia, Kazan, Druzhby st., 14

## Calculation of the carrying capacity of the chimney during dismantling

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is the strength assessment of reinforced concrete chimney during dismantling by roll method.

*Results.* The results of modeling the loss of bearing capacity of a monolithic reinforced concrete chimney during the dismantling by the method of directional rolls are presented. Two variants of the calculation for determining the size of the opening in the trunk of the pipe: a) the pipe is considered as an eccentric-compressed elastic column; b) the pipe was modeled as a thin conical shell of variable cross-section in the LIRA package. The stress-strain state of the pipe was investigated depending on the depth of the hole in the trunk of its own weight, as well as taking into account the tension of 17 tons from the excavator. The calculations were performed both in geometric and physical linear formulation and taking into account the nonlinearity. The results of the calculations and recommendations were taken into account in the preparation of the project of works for the dismantling of the chimney.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry is to develop recommendations for the safe dismantling of chimneys and other similar high-rise structures.

**Keywords:** chimney, dismantling, felling, the size of the opening, the barrel of the pipe.

## References

1. Elshin A. M., Egorin M. N., Zholudev, V. S., Ovcharenko E. G. Chimneys. M. : Stroyizdat, 2001. 296 p.
2. Zelenin M. Y., Khabibulin V. R., Guchenko D. E., Baron V. L., Ganopolsky M. I. Blasting by a directed collapse of a reinforced concrete pipe with a height of 150 m in Izhevsk (Udmurtia) // Mountain information-analytical Bulletin. 2016. № 6. P. 149–160.
3. Lazutin N. V., Matveev Yu. V., Martynenko G. N. Reasons for the collapse of the reinforced concrete chimney № 3 Berezniki CHP-2 // Newsletter of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision. 2015. № 5. P. 73–75.

4. ООО «USER-Engineering» // URL: http://www.user-ekb.ru/index.php?main=newsmain&id=100012&pg=2 (reference date: 11.07.2019).
5. MATEC Web of Conferences 170, 03019 (2018) // URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/201817003019 (reference date: 04.07.2019).
6. Mirsayapov Ilshat T., Tamrazyan A. G. To development of scientific bases of the theory of endurance of reinforced concrete structures // Industrial and civil engineering. 2017. № 1. P. 50–56.
7. Mirsayapov Ilshat T., Tamrazyan A. G. To development of scientific bases of the theory of endurance of reinforced concrete structures // Industrial and civil engineering. 2016. № 11. P. 19–23.
8. Sokolov B. S., Antakov A. B. Concrete crushing Strength // Architecture and construction. 2010. № 4. P. 75–78.
9. Etkin M. B., Azarkovich A. E., Etkin A. M. Systems approach to safety of preservable entities in the planning blasting operations // Power Technology and Engineering. 2001. vol. 35. № 10. P. 535–544.
10. Bayliss C. R., Langley K. F. Dismantling Techniques // Nuclear Decommissioning, Waste Management, and Environmental Site Remediation. 2003. P. 99–111.

## ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА»

Статья должна быть набрана в программе Microsoft Word (версия не ранее MS Word 97). Файл, названный именем автора статьи, представить с расширением RTF.

**Параметры страницы:**

- размер страницы – 297×210 мм (формат А4);
- поля: сверху – 20 мм, снизу – 20 мм, слева – 30 мм, справа – 30 мм;
- ориентация страницы – книжная.

**Параметры форматирования текста:**

- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта – 11 пт;
- абзацный отступ – 10 мм (не задавать пробелами);
- выравнивание – по ширине;
- заголовки полужирным шрифтом, с выравниванием по центру;
- междустрочный интервал – одинарный.

При наборе статьи исключить автоматический перенос слов. Запрещено уплотнение интервалов шрифта.

Объем публикации – не менее 5 полных страниц и не более 10 страниц самого текста. Иллюстративный материал не должен перегружать статью (не более 4 рис.).

Таблицы создать средствами Microsoft Word и присвоить им имена: Таблица 1, Таблица 2 и т.д. Название таблицы с порядковым номером (или номер таблицы без названия) располагается над таблицей. Текст таблицы должен быть набран шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом.

Иллюстрации представить в основных графических форматах (tif, jpg, bmp, gif) с именами Рис. 1, Рис. 2 и т.д. Все объекты должны быть черно-белыми (градации серого), четкого качества. Выравнивание – по центру. Рекомендуемое разрешение – 300 dpi. Названия иллюстраций и подписи к ним набираются шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом. **Не допускается** выполнение рисунков в редакторе Microsoft Word. Минимальный размер иллюстраций – 80×80 мм, максимальный – 170×240 мм.

**Все формулы и символы набирать только в Microsoft Word**. Для набора тех формул, которые невозможно набрать в Word, использовать встроенный в Microsoft Word редактор формул Microsoft Equation или Math Type. Формулы в статье, подтверждающие физическую суть исследования (процесса), представляются без развернутых математических преобразований. Формулы компонуются с учетом вышеуказанных полей (при необходимости использовать перенос формулы на следующую строку), помещаются по центру строки, в конце которой в круглых скобках ставится порядковый номер формулы (формулы и их порядковые номера – в таблицах с невидимыми границами). Ссылку на номер формулы в тексте также следует брать в круглые скобки. Следует применять физические величины, соответствующие стандарту СТ СЭВ 1052-78 (СН 528-80).

Иллюстрации, формулы, таблицы и ссылки на цитированные источники, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте. При этом, ссылка на литературные источники берётся в квадратные скобки.

Уникальность текста статьи должна составлять не менее 75 %.

### ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 691.33
**Иванов Иван Иванович**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: ivanov@kgasu.ru
**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
разделительный интервал
**Современные строительные материалы**
разделительный интервал
**Аннотация**
**Текст аннотации** (15-20 строк)
**Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, карбамидные пенопласты, модификация.
разделительный интервал
**Текст статьи**
разделительный интервал
**Список библиографических ссылок**
разделительный интервал
**Ivanov Ivan Ivanovich**
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: ivanov@kgasu.ru
**Kazan State University of Architecture and Engineering**
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
разделительный интервал

**Modern building material**
разделительный интервал

**Abstract**

**Текст abstract** (15-20 строк)

**Keywords:** thermal insulating materials, of carbamide foams, updating.

разделительный интервал

**References***

*Перечень ссылок, переведённый на английский язык (названия издательств, журналов и фамилии не переводить – писать в латинской транскрипции).

**Перечень библиографических ссылок обязателен!**

**Библиографические ссылки представить в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.**

**Примеры:**


1. Благовещенский Ф. А., Букина Е. Ф. Архитектурные конструкции. М. : Архитектура-С, 2011. 232 с.
2. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Введение в биоповреждение строительных материалов. Казань, 2015. С. 156–161.
3. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р., Морозов В. П. Дегидратация глин различного минерального состава при прокаливании // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 388–394.
4. Тезисы докладов : сб. научных трудов 68-й Всероссийской научной конференции, Казань, 2016. 357 с.
5. Абдрахманова Л. А., Ашрапов А. Х., Низамов Р. К., Хозин В. Г. Структурные факторы деформирования и разрушения нанокомпозитов на основе поливинилхлорида : сб. ст. VIII академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции / КГАСУ. Казань, 2014. С. 8–11.
6. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения : пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03 ; заявл. 26.05.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. 5 с.
7. Доклад начальника Главного управления по делам печати Н. Татищева министру внутренних дел, 1913 г. // РГИА, Ф. 785. Оп. 1. Д. 188. Л. 307.
8. Гущин Б. П. Журнальный ключ : статья // ПФА РАН. Ф. 900. Оп. 1. Ед. хр. 23. 5 л.
9. Теория машин // PROGNOSIS.RU : ежедн. интернет-изд. 2010. URL: http://www.prognosis.ru /logos.html (дата обращения: 02.12.2016).


**Примеры перевода перечня ссылок на английский язык:**


1. Blagoveshchenskiy F. A., Bukina Ye. F. Architectural construction. M. : Architectura-C, 2011. 232 p.
2. Stroganov V. F., Sagadeyev Ye. V. Introduction to biodamage of building materials. Kazan, 2015. P. 156–161.
3. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R., Morozov V. P. Dehydration of clay of different mineral composition on ignition // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 388–394.
4. Thesises of reports : proceedings of the 68th All-Russian scientific conference, Kazan, 2016. 357 p.
5. Abdrakhmanova L. A., Ashrapov A. Kh., Nizamov R. K., Khozin V. G. Structural factors of deformation and destruction of nanocomposites based on polyvinylchloride : dig. of art. VIII academic readings of RAACS – International scientific-technical conference / KGASU. Kazan, 2014. P. 8-11.
6. A method of making steel support of multi-faceted cross-section : patent 2556603 of the Rus. Federation. № 2014121172/03 ; decl. 26.05.2014; publ. 10.07.2015. Bull. in № 19. 5 p.
7. Report of chief of Central administrative of the Press N. Tatischev to the Minister of Internal Affairs, 1913 y. // RGIA, F. 785. Op. 1. D. 188. L. 307.
8. Guschin B. P. Journal key : article // PFA RAS. F. 900. Op. 1. St. un. 23. 5 sh.
9. Theory of machines // PROGNOSIS.RU : daily. internet-edit. 2010. URL: http://www.prognosis. ru/logos.html (reference date: 02.12.2016).


В список библиографических ссылок вносятся только опубликованные работы.

Название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким. Аннотация (1 абзац от 500 до 1000 знаков с пробелами) должна ясно излагать содержание статьи и быть пригодной для самостоятельного опубликования.

В разделе **«Введение»** рекомендуется указать нерешенные ранее вопросы, сформулировать и обосновать цель работы и, если необходимо, рассмотреть ее связь с важными научными и практическими направлениями. Могут присутствовать ссылки на публикации последних лет в данной области, включая зарубежных авторов.

**Основная часть статьи** должна подробно освещать содержание исследований, проведенных автором (авторами). Полученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть статьи должна делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками) и содержать анализ последних публикаций, посвященных решению вопросов, относящихся к данным подразделам.

В разделе **«Заключение»** должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Язык публикации: русский или английский.

Подробные требования размещены на сайте журнала!

Если статья была или будет направлена в другое издание, необходимо сообщить об этом редакции. Ранее опубликованные статьи к рассмотрению не принимаются.

**От авторов в редакцию журнала предоставляются следующие материалы:**

- **Два экземпляра статьи в четко распечатанном виде;**
- **Электронный вариант** (Электронная версия статьи должна соответствовать варианту на бумажном носителе);
- **Две рецензии** (соответствующего уровня) от двух независимых организаций;
- **Экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись**;
- **Сопроводительное письмо в предлагаемой форме** (см. сайт).

**Материалы к публикации вложить в полиэтиленовый файл.**

Датой поступления статьи считается день представления последнего из вышеуказанных материалов.

Представленные авторами научные статьи направляются на независимое закрытое рецензирование специалистам по профилю исследования, членам редакционной коллегии. Основными критериями целесообразности публикации являются новизна полученных результатов, их практическая значимость, информативность. В случае, когда по рекомендации рецензента статья возвращается на доработку, датой поступления считается день получения редакцией ее доработанного варианта. К доработанной статье в обязательном порядке прикладываются ответы на все замечания рецензента. Статьи, получившие отрицательные заключения рецензентов и не соответствующие указанным требованиям, решением редакционной коллегии журнала не публикуются и не возвращаются (почтовой пересылкой). Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей с сохранением авторского варианта научного содержания.

**Журнал «Известия КГАСУ» выходит 4 раза в год, тиражом 500 экз. Журнал является подписным изданием и включен в общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ», индекс издания – 36939.**

**Авторы, являющиеся членами редколлегии и (или) подписчиками журнала, имеют преимущественное право на опубликование своих статей.**

**СТАТЬИ ПУБЛИКУЮТСЯ БЕСПЛАТНО.**

**Научная статья в полном объеме будет также размещена на официальном сайте «Известия КГАСУ» – электронном научном издании (ЭНИ) http://izvestija.kgasu.ru/** (Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС 77-31046 от 25.01.2008).

**Все материалы направлять по адресу:** 420043, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1, ОПИР, комн. 79. Телефон (843) 510-46-39, 236-26-88 (тел./факс). E-mail: patent@kgasu.ru.

**Банковские реквизиты:**
КГАСУ
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1
ИНН 1655018025 КПП 165501001
Сч. 40501810292052000002
в ГРКЦ НБ РТ Банка России г. Казань
БИК 049205001
Л/с 20116Х06860

**Указать назначение платежа:** Код дохода: 00000000000000000130 реализация изд. деят-ти.

**Известия КГАСУ**
2019 г., № 3 (49)

Гл. редактор: Низамов Р.К.
Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Макет и редактирование: Бибикина А.Р.

Адрес редакции: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Тел. для справок: (843) 510-46-39
Адрес издателя: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Журнал зарегистрирован: Регистр. ПИ № ФС77-25136
Электронное периодическое издание: http://izvestija.kgasu.ru Регистр. Эл № ФС 77-31046
Федеральная служба
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия.
Индекс издания – 36939
Общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ»
Распространение: свободная цена

Подп. к печати 19.09.2019 Формат 60×84/8
Заказ 174 Бумага тип. № 1
Усл.-печ. л. 29,9 Уч.-изд. л. 30,4
Тираж 500 экз.
I завод-100

Дата выхода в свет: 30.09.2019

Отпечатано в Издательстве КГАСУ: 420061, г. Казань, ул. Н. Ершова, д. 31Б