

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 **2021 г., № 4 (58)**

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Рольф Катценбах, д-р техн. наук, проф. (Германия);	Фишер Х.-Б., доктор-инженер (Германия);
Фиговский О.Л., д-р техн. наук, проф., член Европейской АН, иностранный член РААСН (Израиль);	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 в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Регистрационный номер ПИ № ФС77-77410 от 17 декабря 2019г.). Включен в электронный каталог АО «ПОЧТА-РОССИИ», индекс издания – ПП890.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, ком. 79
Тел. (843) 510-46-39
E-mail: patent@kgasu.ru Сайт: <http://izvestija.kgasu.ru>

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 2021, № 4 (58)

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

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

Rolf Katzenbach, Dr. tech. sci., prof. (Germany);	Fischer H.-B., Dr.-Ing (Germany);
Figovskiy O.L., Dr. tech. sci., prof., member of	Hassan Abdalla, PhD, prof. (Great Britain);
EAS, foreign member of RAACS (Israel);	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 the Federal service for supervision of communications, information technology, and mass media (the certificate on registration PI № FS77-77410, dated December, 17th, 2019). It is included in the digital catalogue of JSC «RUSSIAN POST»; subscription number PP890.

EDITORIAL ADDRESS:

420043, Kazan, Zelenaya 1, office 79
Tel. (843) 510-46-39
E-mail: patent@kgasu.ru Web-site: <http://izvestija.kgasu.ru>



СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ		
Мирсаяпов Илизар Т., Айсин Н. Н. Исследования деформаций глинистых грунтов при режимном длительном трехосном сжатии с учетом начальных дефектов		5
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ		
Мирсаяпов Илизар Т. Теоретические основы усталостного разрушения стальной арматуры железобетонных конструкций		15
Палагин Н. Г., Ахметов М. М., Гридчин А. М., Череватова А. В. Экономическая целесообразность изготовления многопустотных плит перекрытий из высокопрочного песчаного бетона		26
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ		
Гришина А. Н., Королев Е. В. Химический состав гидросиликатов бария для модифицирования портландцемента		39
Сулейманов А. М., Смирнов Д. С., Белаева К. Р. Способ оценки долговечности деревянных опор		48
Обухов А. А., Высоцкая М. А. Щебеночно-мастичный асфальтобетон на битумном вяжущем из неокисленного компаундированного сырья		59
Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р., Потапова Л. И., Гарафиев А. М. Исследование структурообразования модифицированного шунгитсодержащего цементного камня методом ИК-спектроскопии		70
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ		
Кареева Ю. Р., Закиева Р. Р. Верификация численной модели процесса истечения струи из приточного отверстия под углом		82
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ		
Балтусова О. А., Дембич А. А., Муталлапова Г. А. Трансформация управленческих задач в ходе реализации градостроительного развития территории (на примере концепции развития г. Чистополь)		90
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ		
Каюмова И. А., Киносьян Н. С. Современное состояние постпромышленных территорий в центральной части города Казани и перспективы их развития		97
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»		110



CONTENTS



FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES	
Mirsayapov Ilizar T., Aysin N. N. Investigation of deformations of clay soils under regime of prolonged triaxial compression taking into account initial defects	5
BUILDING STRUCTURES, HOUSES	
Mirsayapov Ilizar T. Theoretical basis of fatigue failure of steel reinforcement of reinforced concrete structures	15
Palagin N. G., Akhmetov M. M., Gridchin A. M., Cherevatova A. V. Economic feasibility of manufacturing hollow-core floor slabs from high-strength sand concrete	26
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Grishina A. N., Korolev E. V. Chemical composition of barium hydrosilicates for cement modification	39
Suleymanov A. M., Smirnov D. S., Belaeva K. R. Durability of wooden structures	48
Obukhov A. A., Vysotskaya M. A. Crushed stone-mastic asphalt concrete based on bitumen binder from unoxidized compounded raw materials	59
Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Potapova L. I., Garafiev A. M. The study of structure formation of modified cement stone containing shungite by infrared spectroscopy	70
HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING	
Kareeva J. R., Zakieva R. R. Verification of the numerical model of the process of jet outflow from the inlet at an angle	82
URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING	
Baltusova O. A., Dembich A. A., Mutallapova G. A. Transformation of management tasks during the implementation of urban development of the territory (based on the example of the development concept of Chistopol)	90
ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY. HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION	
Kayumova I. A., Kinosyan N. S. The current state of post-industrial territories in the central part of the city of Kazan and the prospects for their development	97
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	110



УДК 624.131.439

Мирсаяпов Илизар Талгатович

доктор технических наук, профессор

Email: mirsayapov1@mail.ru

Айсин Нияз Наилович

аспирант

Email: zarejay@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Исследования деформаций глинистых грунтов при режимном длительном трехосном сжатии с учетом начальных дефектов

Аннотация

Постановка задачи. Устройство глубоких котлованов приводит к изменению напряженно-деформированного состояния грунтового массива в пределах радиуса зоны влияния. Это вызвано разгрузкой основания при выемке грунта, горизонтальным перемещением стенок котлована, технологическими факторами. При попадании в зону существующей застройки возникает необходимость в оценке и геотехническом прогнозе поведения грунтов основания существующих зданий и сооружений. При этом необходимо учитывать имеющиеся и вновь возникшие дефекты и повреждения грунтов. Цель исследования – на основании лабораторных исследований определить зависимости основных деформационных характеристик глинистого грунта с имеющимися дефектами, для этого необходимо: провести экспериментальное исследование при трехосном сжатии образцов глины с трещинами и без трещин; установить особенности развития трещин в структуре образца глины; установить особенности развития деформаций глинистого грунта с трещинами при трехосном сжатии.

Результаты. Основанные результаты исследования состоят в том, что были получены новые данные о влиянии дефектов в грунтовых образцах на графики деформирования глинистого грунта. На основании результатов исследований построены зависимости основных деформационных характеристик глинистого грунта.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что они позволяют более точно оценивать осадки оснований фундаментов при устройстве вблизи существующих зданий глубоких котлованов

Ключевые слова: глинистый грунт, деформации, микротрещины, макротрещины, несущая способность, реология грунтов.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т., Айсин Н. Н. Исследования деформаций глинистых грунтов при режимном длительном трехосном сжатии с учетом начальных дефектов // Известия КГАСУ. 2021. №4 (58). С 5-14. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_5.

1. Введение

Процесс разрушения и развития нелинейных деформаций глинистого грунта при трехосном сжатии сопровождается образованием и развитием микро- и макротрещин в плоскостях предельного равновесия. Микро- и макротрещины в структуре грунта влияют на деформации и прочность грунта при длительном нагружении.

Libin Gong и др. [1] изучили моделирование скального грунта, трещины которых заполнены более слабым видом грунта, в которых степень водонасыщения заполнителя в значительной степени влияет на общее поведение соединения при сдвиге и на стабильность грунта. Впервые с использованием численного программного обеспечения Fast Lagrangian Analysis of Continua (FLAC) была проведена серия испытаний на прямой сдвиг с постоянным содержанием воды на ненасыщенном заполненном стыковом грунте с использованием численного программного обеспечения. Начальное водонасыщение заполнителя и другие факторы, включая скорость сдвига, шероховатость соединения, толщину заполнения и нормальное напряжение, показали влияние на прочность соединения на сдвиг в соответствии с литературным обзором.

Emil Soból и др. [2, 3] исследовали 15 различных варшавских глин. Собранные данные позволили авторам создавать эмпирические модели, описывающие характеристики жесткости с высокой достоверностью. Комбинированные эмпирические модели позволяют оценить значение модуля сдвига связного грунта в широком диапазоне деформаций сдвига с высокой точностью. В результате исследования было установлено, что максимальный модуль сдвига увеличивается с увеличением среднего эффективного напряжения. Число пластичности оказал незначительное влияние на значение G_{MAX} , а зависит от эффективного напряжения p' и отношения пустот e . Деформация сдвига оказала наибольшее влияние на модуль сдвига и нормализованные кривые деградации модуля сдвига. С увеличением как пластичности, так и эффективного напряжения нелинейная пороговая деформация перешла к более высокой деформации сдвига. Однако среднее эффективное напряжение (p') оказывало заметно меньшее влияние на упругий диапазон сдвиговой деформации, чем индекс пластичности (P_I).

Глинистые грунты обладают выраженными реологическими свойствами, которые меняются в зависимости от степени поврежденности структуры с начальными дефектами и повреждениями. Исследованию влияния дефектов виде микро- и макротрещин трещин на реологические свойства грунтов посвящено сравнительно небольшое количество работ. Вопросы изменения прочности и деформируемости глинистых грунтов с начальными дефектами и повреждениями при длительном режимном статическом нагружении практически не изучены [4-8].

При проектировании и строительстве необходимо избегать неравномерных осадок. В статье Heng Zhang и др. [9] разработано аналитическое решение, основанное на методе интегрального преобразования Лапласа, при прогнозировании длительных неравномерных осадок зданий на нескальных грунтовых основаниях. Методология основана на теории интегрального преобразования Лапласа и теории вязко упругости. Она сочетает аналитическое решение с методом конечных элементов для решения с учетом последовательности строительства и нагружения. Точность аналитического решения, основанного на интегральном преобразовании Лапласа, подтверждена результатами мониторинга.

В глинистых грунтах при трехосном сжатии напряжения и деформации меняются в зависимости от уровня напряжений, соотношения вертикальных и горизонтальных напряжений, времени действия нагрузки, траектории и размеров первоначальных дефектов структуры [10-13]. Поэтому соотношение между напряжением и деформацией не является постоянным, а изменяется, даже если одна из этих величин не изменяется во времени, а другая – напряжение или деформация – будет изменяться.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость установления закономерностей изменения прочности и деформируемости грунтов с учетом изменения режимов длительного нагружения и влияния имеющихся дефектов и повреждений, для этого необходимо решить ряд задач:

1. Провести экспериментальное исследование при трехосном сжатии образцов глины с трещинами и без трещин;
2. Установить особенности развития трещин в структуре образца глины;
3. Установить особенности развития деформаций глинистого грунта с трещинами при трехосном сжатии.

2. Материалы и методы

Испытания проводились на приборе истинного трехосного сжатия с жесткими стенками. Прибор был разработан на кафедре [14, 15]. На образец грунта нагрузки передаются с помощью механических рычагов, что обеспечивает постоянное давление при деформировании образца. Испытания проводились при одинаковом боковом давлении. Вертикальные σ_1 напряжения прикладывались к образцу с заданным шагом.

Для испытаний применялись искусственно приготовленные образцы глинистого грунта, имеющие форму куба с размерами 10 x 10 x 10 см, с заданными характеристиками: плотность $\rho = 1,91 \text{ г/см}^3$; влажность $W = 0,2$. Для определения влияния образования и развития дефектов на прочность и деформации глинистого грунта были созданы искусственные трещины двух видов (см. рис. 1): 1 – одна трещина в предполагаемой

плоскости предельного равновесия грунта; 2 – в виде пересекающихся двух трещин в двух плоскостях предельного равновесия.



Рис. 1. Образцы с трещинами в плоскостях равновесия: а) с одной трещиной; б) с двумя пересекающимися трещинами в двух плоскостях равновесия (иллюстрации авторов)

Для установления закономерностей развития деформаций при режимных длительных трехосных нагружениях были проведены испытания трех серий образцов грунта при заданном значении всестороннего давления.

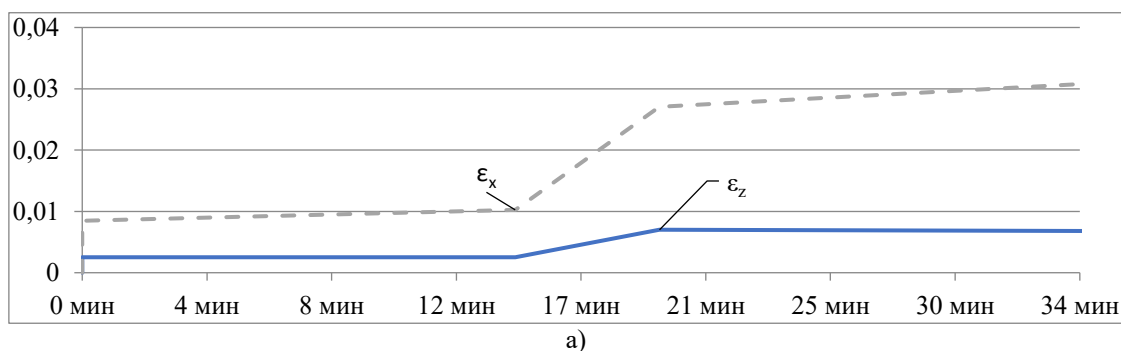
Перемещения, соосные с прикладываемыми нагрузками, измерялись индикаторами часового типа. Величины деформаций определялись расчетом. На начальном этапе образец грунта подвергался всестороннему обжатию $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 160$ кПа. После стабилизации осевых деформаций при постоянных значениях боковых напряжений $\sigma_2 = \sigma_3 = 160$ кПа к образцу прикладывалась вертикальная нагрузка. Каждая ступень нагружения выдерживалась, затем прикладывался следующий уровень нагрузки до достижения предела прочности.

Деформации образца фиксировались через определенные интервалы времени для принятого времени нагружения в этом блоке.

3. Результаты

В пределах каждого блока режимного длительного статического нагружения происходило увеличение линейных вертикальных деформаций, деформаций сдвига, а также изменение интенсивности деформаций сдвига, модуля вертикальных деформаций и модуля сдвига, косвенно характеризующие изменение прочностных и деформационных характеристик грунтов в процессе нагружения.

Графики, построенные по результатам трехосных длительных режимных нагружений, показывают, что на этапе всестороннего обжатия боковые деформации растут интенсивнее, чем вертикальные (см. рис.2). Максимальная величина боковых деформаций достигается в момент, когда вертикальные деформации составляют 25-30 % от величины предельных деформаций при разрушении. Заметное увеличение вертикальных линейных деформаций начинается при $\sigma_z > 0.3 \sigma_{ult}$.



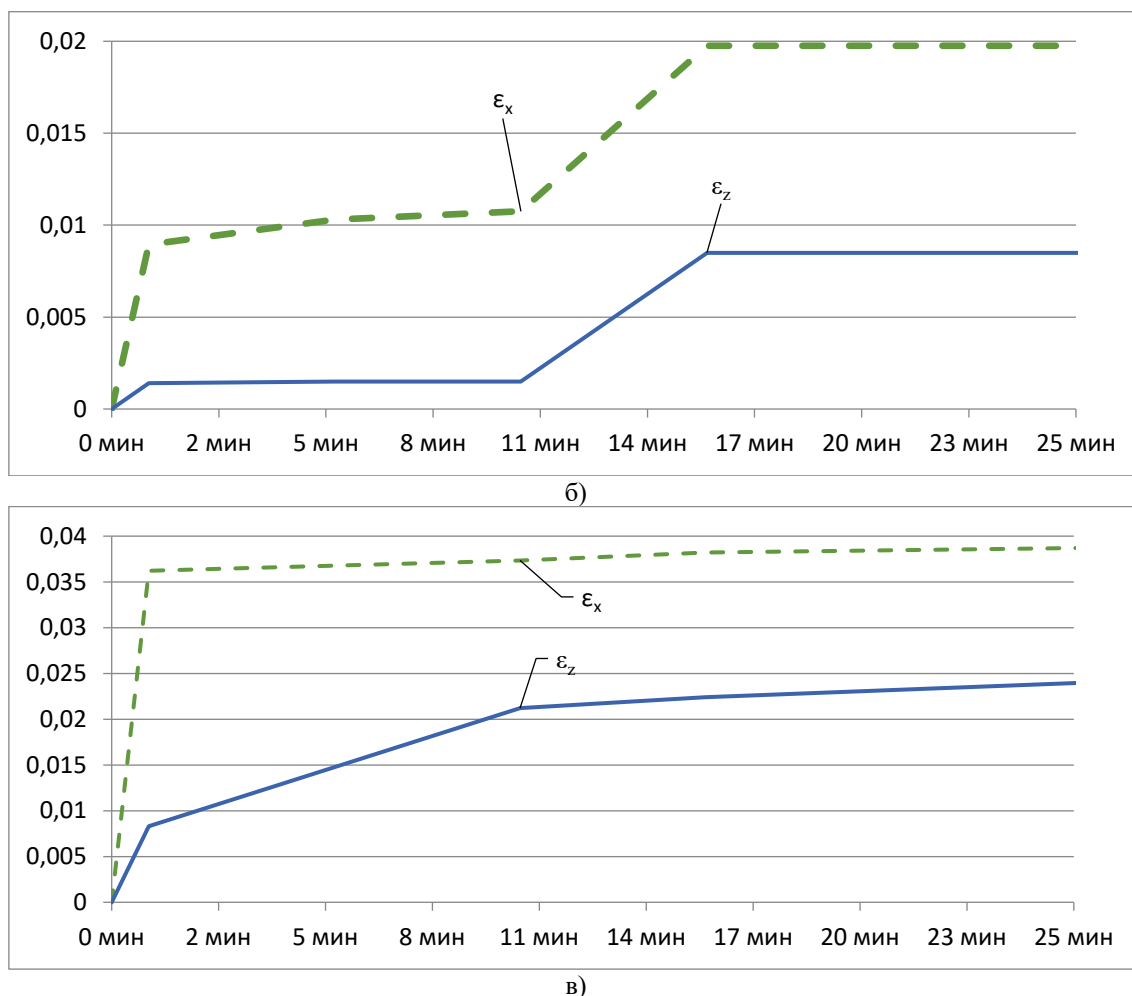


Рис. 2. График относительной деформации образцов: а) без трещин; б) с одной трещиной; в) с двумя трещинами (иллюстрация авторов)

В блоках режимного длительного нагружения происходило увеличение вертикальных деформаций как на стадии всестороннего, так и на стадии девиаторного нагружения. Анализ графика развития вертикальных деформаций показывает, что они развиваются на всем протяжении испытаний с различной интенсивностью. Наиболее интенсивное развитие вертикальных деформаций происходит на стадии девиаторного нагружения в интервале вертикальных напряжений от 300 до 880 кПа. На этом интервале девиаторного нагружения максимальные вертикальные деформации были у образцов с двумя трещинами, минимальные деформации – у образцов без трещин (см. рис. 3.а). Это объясняется тем, что образцы без трещин сопротивлялись образованию плоскости сдвига по граня уплотненных пирамид, а в образцах с трещинами, девиатор напряжений вызывает только перемещение уплотненных пирамид.

Горизонтальные деформации ϵ_x и ϵ_y также развивались на всем протяжении длительного девиаторного нагружения с различной интенсивностью. Как видно из приведенных графиков (см. рис. 3.б), наибольшее значение горизонтальных деформаций наблюдается у образцов с двумя трещинами, минимальные деформации – у образцов без трещин. Анализ графиков развития горизонтальных деформаций показывает, что наиболее интенсивное развитие горизонтальных деформаций происходит в интервале напряжений 500-800 кПа девиаторного нагружения.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что наибольшее значение интенсивности деформаций сдвига были в образцах с одной трещиной и минимальные значения интенсивности деформаций сдвига в образцах без трещин (см. рис. 3.в).

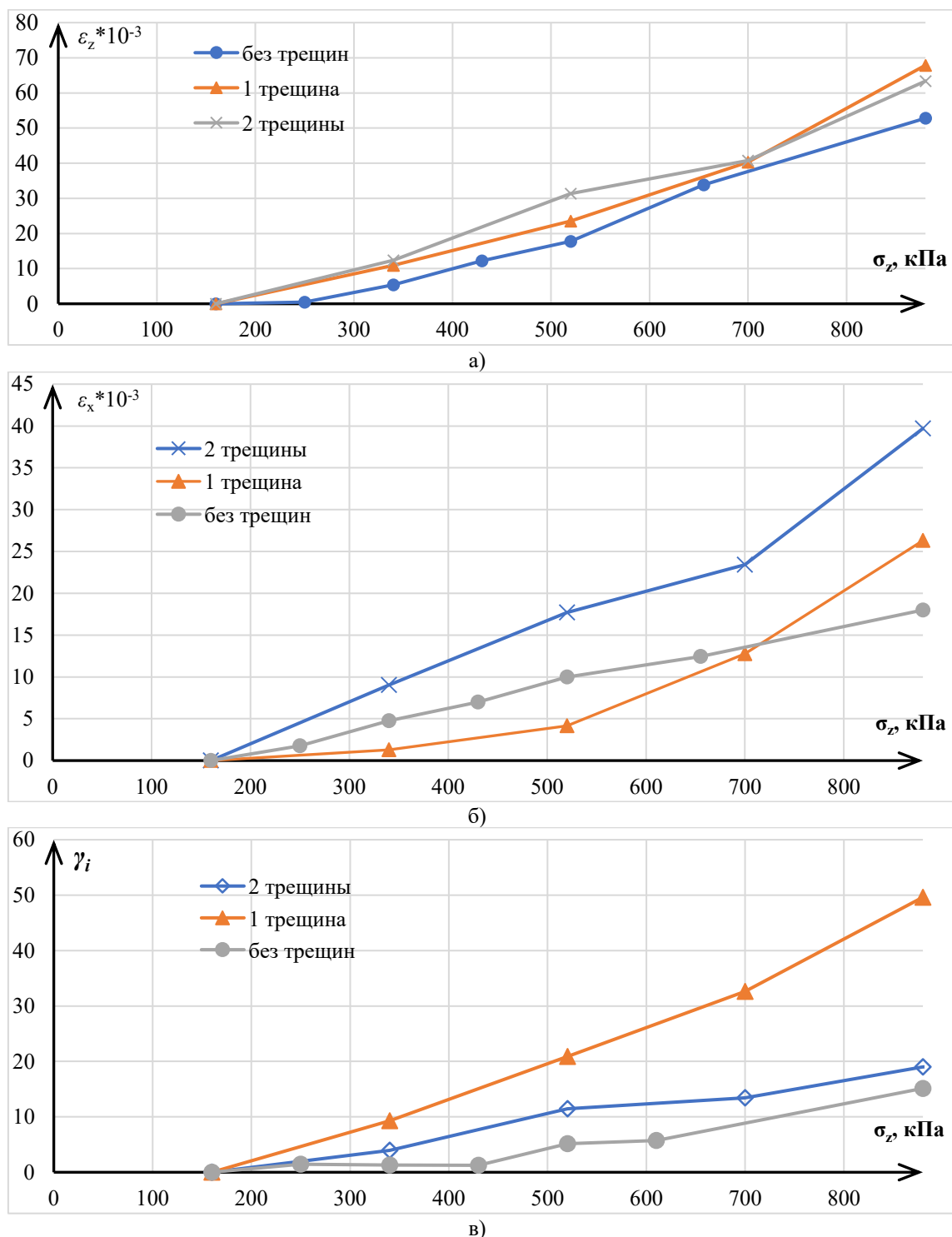


Рис. 3. График деформаций образцов на этапе девиаторного нагружения: а) вертикальных; б) поперечных; в) интенсивности сдвиговых деформаций (иллюстрации авторов)

На стадии девиаторного нагружения на всех блоках режимного нагружения происходило уменьшение линейного модуля вертикальных деформаций, модуля сдвига и объемного модуля деформаций (см. рис. 4). Наиболее интенсивное уменьшение модуля вертикальных деформаций происходило в образцах без трещин. В образцах с одной и двумя трещинами уменьшение модуля вертикальных деформаций происходило более плавно, чем в образцах без трещин. Аналогичная ситуация с объемным модулем деформаций. В связи с тем, что начальные трещины приводили к более интенсивному росту всех составляющих деформаций, снижение объемного модуля деформаций было плавным при увеличении девиатора напряжений.

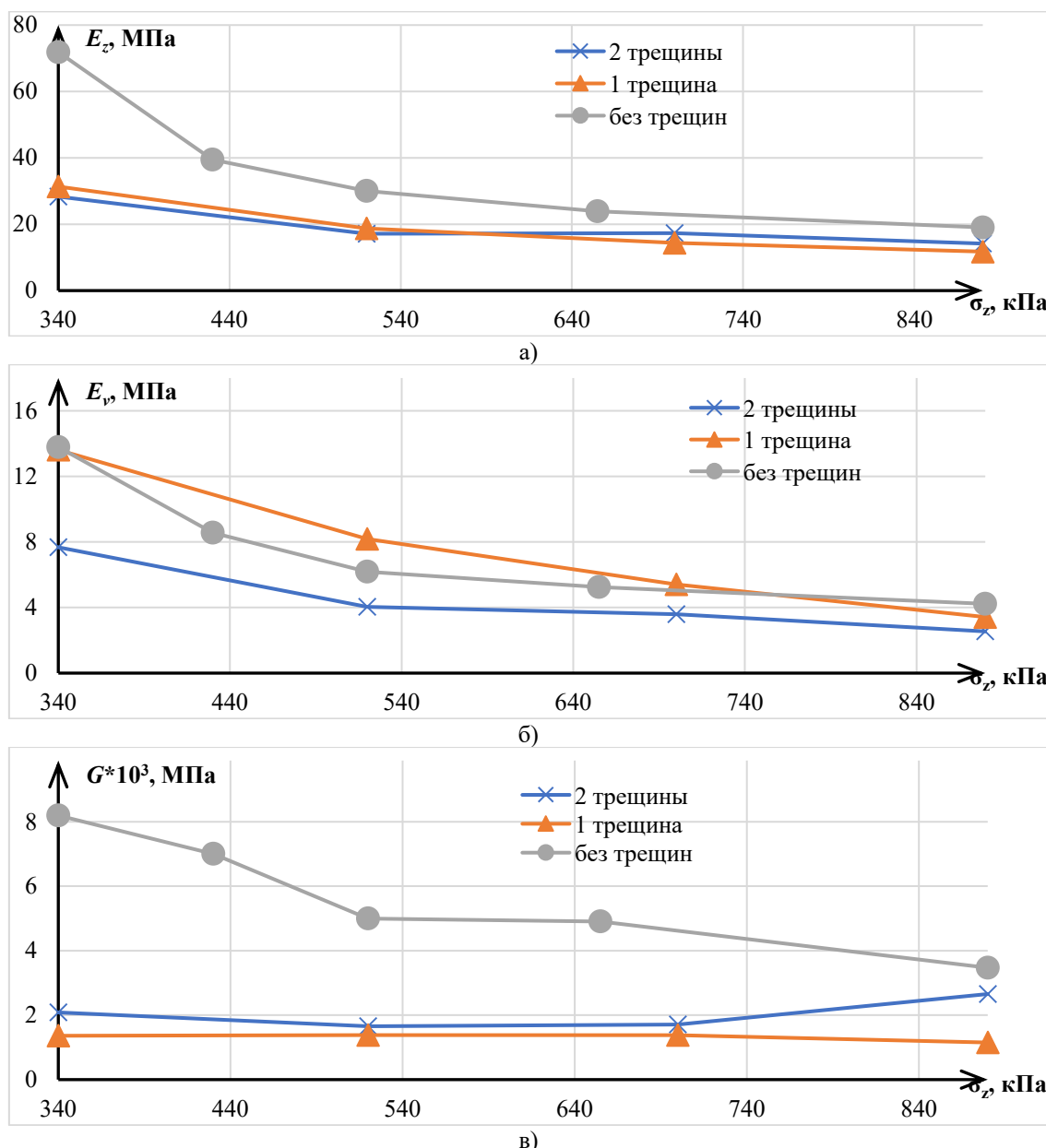


Рис. 4. Графики модулей деформаций: а) вертикального; б) объемного; в) сдвигового (иллюстрация авторов)

4. Обсуждение

Анализ графиков развития вертикальных деформаций показывает, что наиболее интенсивное развитие деформаций происходило в начальной стадии в пределах первого блока нагружения (примерно $t=0$, час), затем происходила относительная стабилизация развития деформаций, но полной стабилизации не происходило. Необходимо отметить, что наиболее интенсивное развитие деформаций наблюдалось в образцах с двумя перекрестными искусственными трещинами (см. рис. 5) и менее интенсивное развитие деформаций наблюдалось в образцах без начальных трещин, а в образцах с одной искусственной трещиной деформации были примерно в два раза меньше, чем в образцах с двумя искусственными трещинами. При переходе на следующий блок нагружения в момент изменения (увеличения) девиатора происходило увеличение общих вертикальных деформаций, затем, как и в первом блоке нагружения происходило наиболее интенсивное нагружение и стабилизация деформаций в пределах второго блока. В последующих блоках нагружения вышеуказанные закономерности повторялись. При этом в каждом последующем блоке в общем интенсивность развития деформаций была меньше, чем в предыдущем блоке.

Линейные горизонтальные деформации имели примерно такие же закономерности развития в пределах каждого блока. При этом необходимо отметить следующую закономерность: в момент увеличения девиатора поперечные деформации уменьшались на величину до $3,25 \cdot 10^{-4}$. Затем происходило восстановление первоначальной величины за время $t = 24$ ч, и дальнейшее увеличение горизонтальных деформаций, что ранее не отмечалось авторами других работ по испытаниям глин трехосными нагрузками [16]. Использование результатов проведенных экспериментальных исследований позволяет повысить точность расчетов до двух раз, по сравнению с другими методами.

Развитие деформаций сдвига имело свои особенности:

1. На начальной стадии происходило увеличение деформаций сдвига по мере увеличения и горизонтальных линейных деформаций.

2. В момент увеличения девиатора напряжений происходило скачкообразное уменьшение деформаций сдвига аналогично поперечным деформациям.

3. Затем происходила стабилизация деформаций сдвига и их дальнейший рост затем они превышали деформации сдвига в предыдущем блоке. Основной причиной этого является деградация структуры грунта, поворот плоскости равновесия и отклонение равнодействующей касательных напряжений от плоскости предельного равновесия.

Необходимость таких расчетов подтверждается востребованностью подобных случаев в строительной области.

5. Заключение

Выполненные экспериментальные исследования трех серий образцов глины в кубическом стабилометре в условиях длительного режимного статического нагружения позволили установить следующие основные закономерности поведения глинистых грунтов под нагрузкой:

1. Основные закономерности изменения основных физико-механических свойств грунтов при трехосном нагружении, заключаются в том, что при таких нагружения трещины развиваются по плоскостям предельного равновесия и приводит к снижению прочностных характеристик грунта.

2. В процессе испытания установлены основные закономерности развития первоначальных дефектов в виде трещин в плоскостях предельного равновесия как по длине, так и по ширине. Скорость развития трещин зависима от скорости изменения девиатора вертикальных напряжений и изменения величины бокового давления.

3. Начальные дефекты образцов глинистого грунта в виде одной или двух трещин, расположенные в плоскостях предельного равновесия, приводили к увеличению вертикальных, горизонтальных деформаций и интенсивности деформаций сдвига не зависимо от режима нагружения по сравнению с образцами без начальных дефектов.

Список библиографических ссылок

1. Gong L., Nemcik J., Ren T. Numerical simulation of the shear behavior of rock joints filled with unsaturated soil. *International Journal of Geomechanics*, 2020. 18 (9), 04018112. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001253.
2. Sobol E., Gabryś K., Zabłocka K., Šadzevičius R., Skominas R., Sas W. Laboratory Studies of Small Strain Stiffness and Modulus Degradation of Warsaw Mineral Cohesive Soils. *Minerals*, 2020. 10 (12), 1127. DOI: 10.3390/min10121127.
3. Głuchowski A., Sas W. Long-Term Cyclic Loading Impact on the Creep Deformation Mechanism in Cohesive Materials. *Materials* 2020, 13, 3907. DOI: 10.3390/ma13173907.
4. Xianzhang Ling., Peng Li., Feng Zhang., Yingying Zhao., Yan Li., Lingshi An. Permanent deformation characteristics of coarse grained subgrade soils under train-induced repeated load. *Hindawi advances in materials science and engineering*. 2017. Vol. 15. p.15. DOI: 10.1155/6241479. 2017. 15.
5. Кутергин В. Н., Панков К. В., Кальберген Р. Г., Карпенко Ф. С., Манукин В. Б. Оценка изменения прочности грунтов при циклических нагрузках, моделирующих воздействия штормовых волн на сооружение. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология Москва*. 2015. Вып. 5. С. 450–459.

6. Leal A. N. and Kaliakin V. N. Behavior of cohesive soils subjected to cyclic loading, 2013.109 p. Hussein H. K., Zeena W. S., Adel H. J. Behaviour of soft clayey soil improved by fly ash and geogrid under cyclic loading, civil engineering journal Iraq. 2020. Vol. 6. Iss. 2. P. 225–237. DOI:10.28991/cej-2020-03091466.
7. Elia G., Rouainia M. Investigating the cyclic behaviour of clays using a kinematic hardening soil model, soil dyn, earthq, eng. School of civil engineering and geosciences, Newcastle University, NE1 7RU Newcastle upon Tyne, UK. 2016. Vol. 88. p. 399–411. DOI:10.1016/j.soildyn.2016.06.014.
8. Gu C., Wang J., Cai Y., Sun L., Wang P., and Dong Q. Deformation characteristics of overconsolidated clay sheared under constant and variable confining pressure, soils and foundations. Japanese geotechnical society. 2016. p. 427–439. Vol. 56. Iss. 3. DOI:10.1016/j.sandf.2016.04.014.
9. Zhang H., Su C., Bai J., Yuan R., Ma Y., Wang W. The Rheological Analytical Solution and Parameter Inversion of Soft Soil Foundation. Symmetry 2021. 13 (7), № 1228. DOI: 10.3390/sym13071228.
10. Hicher P. Y. Experimental study of viscoplastic mechanisms in clay under complex loading, geotechnique. 2016. Vol. 66. Iss. 8. p. 661–669. DOI:10.1680/jgeot.15. P. 203.
11. Hu C. and Liu H. A new bounding-surface plasticity model for cyclic behaviors of saturated clay. Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. 2015. Vol. 22. Iss. 1–3. p. 101–119. DOI:10.1016/j.cnsns.2014.10.023.
12. Wang Y. Cyclic response of natural soft marine clay under principal stress rotation as induced by wave loads. Ocean eng. 2017. Vol. 129. p. 191–202. DOI:10.1016/j.oceaneng.2016.11.031.
13. Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Mukhamedova I. Z. Identification of Mechanical Characteristics of a Nonlinear-Viscoelastic Composite by Results of Tests on Shells of Revolution // Mechanics of Composite Materials. 2019. Vol. 55. P. 171–180. DOI: 10.1007/s11029-019-09802-3.
14. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В., Иванова О.А. Малоцикловая выносливость и деформации глинистых грунтов при трехосном циклическом нагружении. Жилищное строительство Москва. 2012. вып. 9. С. 6–8. DOI: 18083643/0044-4472. 2012. 9. 6–8.
15. Mirsayapov I. T. and Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading: 15th Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng. ARC. 2015. p. 1214–1217.
16. Пронозин Я. А., Кайгородов М. Д., Караулов А. М. Аналитическое определение параметров скважины при устранении неравномерной осадки фундаментов методом выбуривания грунта. Construction and geotechnics. 2020. Т. 11. Номер 2. С. 40–48. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.04.

Mirsayapov Ilizar Talgatovich

doctor of technical sciences, professor

Email: mirsayapov1@mail.ru

Aysin Niyaz Nailovich

post-graduate student

Email: zarejay@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Investigation of deformations of clay soils under regime of prolonged triaxial compression taking into account initial defects**Abstract**

Problem statement. Construction of deep pits leads to changes in the stress-strain state of the soil mass within the radius of the zone of influence. This is caused by base unloading during excavation, horizontal displacement of excavation walls, technological factors. When falling within the zone of existing development, there is a need to assess and geotechnically predict the behavior of the foundations of existing buildings and structures. Existing and newly emerged defects and damages of soils must be taken into account. The aim of the study is to determine the dependences of the main deformation characteristics of clay soil with existing defects on the basis of laboratory studies, for this purpose it is necessary to: conduct an experimental study in triaxial compression of clay samples with cracks and without cracks; establish the peculiarities of crack development in the clay sample structure; to establish the peculiarities of deformation development of cracked clay soil under triaxial compression.

Results. The basic results of the study are that new data have been obtained on the effect of defects in soil samples on the deformation graphs of clay soil. The dependences of the main deformation characteristics of clay soil are plotted on the basis of the research results.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry lies in the fact that they allow more accurate assessment of foundation settlement when deep excavations are made near existing buildings.

Keywords: clay soil, deformations, microcracks, macrocracks, bearing capacity, rheology of soils.

For citation: Mirsayapov Ilizar T., Aysin N. N. Investigation of deformations of clay soils under regime of prolonged triaxial compression taking into account initial defects // Izvestiya KGASU. 2021. №4 (58). P. 5-14. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_5.

References

1. Gong L., Nemcik J., Ren T. Numerical simulation of the shear behavior of rock joints filled with unsaturated soil. International Journal of Geomechanics, 2020. 18 (9), 04018112. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001253.
2. Sobol E., Gabryś K., Zabłocka K., Šadzevičius R., Skominas R., Sas W. Laboratory Studies of Small Strain Stiffness and Modulus Degradation of Warsaw Mineral Cohesive Soils. Minerals, 2020. 10 (12), 1127. DOI: 10.3390/min10121127.
3. Głuchowski A., Sas W. Long-Term Cyclic Loading Impact on the Creep Deformation Mechanism in Cohesive Materials. Materials 2020, 13, 3907. DOI: 10.3390/ma13173907.
4. Xianzhang Ling., Peng Li., Feng Zhang., Yingying Zhao., Yan Li., Lingshi An. Permanent deformation characteristics of coarse grained subgrade soils under train-induced repeated load. Hindawi advances in materials science and engineering. 2017. Vol. 15. p.15. DOI: 10.1155/6241479. 2017. 15.
5. Kutergin V. N., Pankov K. V., Kalbergenov R. G., Karpenko F. S., Manukin V. B. Assessment of soil strength changes under cyclic loads simulating the impact of storm waves on the structure. Geocology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology Moscow. 2015. I. 5. P. 450–459.
6. Leal A. N. and Kaliakin V. N. Behavior of cohesive soils subjected to cyclic loading, 2013. 109 p. Hussein H. K., Zeena W. S., Adel H. J. Behaviour of soft clayey soil improved

- by fly ash and geogrid under cyclic loading, civil engineering journal Iraq. 2020. Vol. 6. Iss. 2. P. 225–237. DOI:10.28991/cej-2020-03091466.
7. Elia G., Rouainia M. Investigating the cyclic behaviour of clays using a kinematic hardening soil model, soil dyn, earthq, eng. School of civil engineering and geosciences, Newcastle University, NE1 7RU Newcastle upon Tyne, UK. 2016. Vol. 88. p. 399–411. DOI:10.1016/j.soildyn.2016.06.014.
 8. Gu C., Wang J., Cai Y., Sun L., Wang P., and Dong Q. Deformation characteristics of overconsolidated clay sheared under constant and variable confining pressure, soils and foundations. Japanese geotechnical society. 2016. p. 427–439. Vol. 56. Iss. 3. DOI:10.1016/j.sandf.2016.04.014.
 9. Zhang H., Su C., Bai J., Yuan R., Ma Y., Wang W. The Rheological Analytical Solution and Parameter Inversion of Soft Soil Foundation. Symmetry 2021. 13 (7), № 1228. DOI: 10.3390/sym13071228.
 10. Hicher P. Y. Experimental study of viscoplastic mechanisms in clay under complex loading, geotechnique. 2016. Vol. 66. Iss. 8. p. 661–669. DOI:10.1680/jgeot.15. P. 203.
 11. Hu C., Liu H. A new bounding-surface plasticity model for cyclic behaviors of saturated clay. Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. 2015. Vol. 22. Iss. 1–3. p. 101–119. DOI:10.1016/j.cnsns.2014.10.023.
 12. Wang Y. Cyclic response of natural soft marine clay under principal stress rotation as induced by wave loads. Ocean eng. 2017. Vol. 129. p. 191–202. DOI:10.1016/j.oceaneng.2016.11.031.
 13. Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Mukhamedova I. Z. Identification of Mechanical Characteristics of a Nonlinear-Viscoelastic Composite by Results of Tests on Shells of Revolution // Mechanics of Composite Materials. 2019. Vol. 55. P. 171–180. DOI: 10.1007/s11029-019-09802-3.
 14. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V., Ivanova O. A. Low cycle endurance and deformation of clay soils under triaxial cyclic loading. Housing construction. Moscow. 2012. Iss. 9. P. 6–8. DOI: 18083643/0044-4472. 2012. 9. 6–8.
 15. Mirsayapov I. T. and Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading: 15th Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng. ARC. 2015. p. 1214–1217.
 16. Pronozin Y. A., Kaygorodov M. D., Karaulov A. M. Analytical determination of well parameters while eliminating uneven settlement of foundations by drilling soil. Construction and geotechnics. 2020. T. 11. 2. P. 40–48. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.04.



УДК624.012.35

Мирсаяпов Илизар Талгатович

Email: mirsayapov1@mail.ru

доктор технических наук, профессор

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Теоретические основы усталостного разрушения стальной арматуры железобетонных конструкций

Аннотация

Постановка задачи. В железобетонных конструкциях при действии циклических нагрузок одним из видов разрушения является усталостное разрушение рабочей арматуры. Режим работы стальной арматуры в составе железобетонной конструкции нестационарный не зависимо от режима нагружения в этих случаях определение усталостной прочности арматуры требует проведения очень большого количества экспериментов, что требует большого количества финансовых и трудовых ресурсов. Целью работы является разработка теории развития трещин усталости стальной арматуры для создания расчетных моделей арматуры с трещинами, для этого необходимо: установить схему образования трещин усталости в арматурных стрежнях для железобетонных конструкций; разработать уравнение изменения удельной энергии разрушения стали в зонах образования и развития трещин; разработать методику расчета долговечности стальной арматуры с трещинами.

Результаты. Проведены теоретические исследования усталостной прочности стальной арматуры. Установлено, что усталостное разрушение стальной арматуры характеризуется образованием и развитием микро и макротрещин в структуре металла до критических размеров, выведены две основные стадии: до образования микро и макротрещин усталости; развитие макротрещин усталости до критических размеров. Для моделирования работы стальной арматуры при режимном циклическом деформировании использованы методы механики разрушения упругопластических материалов, с использованием этих методов получены уравнения изменения механических характеристик арматуры при различных режимах циклического нагружения. На основании проведенных теоретических исследований получены уравнения изменения основных силовых параметров стальной арматуры, позволяющие разработать аналитические формулы для оценки усталостной прочности при циклическом нагружении.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что предложенные расчетные модели позволяют снизить стоимость проведения исследований усталостной прочности арматуры до двух раз, трудоемкость до трех раз по сравнению с общепринятыми традиционными экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: стальная арматура, профиль конструкции напряжений, усталостная трещина, поврежденность, пластический ресурс, удельная энергия, напряжение ползучести бетона, упругая работа арматуры.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т. Теоретические основы усталостного разрушения стальной арматуры железобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2021. № 4 (58). С. 15–25. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_15.

1. Введение

Процесс многоциклового усталости металлов условно разделяется на две основные стадии: до появления магистральной трещины (стадия зарождения усталостной магистральной трещины); период развития магистральной трещины до разрушения. Если долговечность на I-ой стадии обозначить N_t , а долговечность на 2-ой стадии $N_{ж}$, то полная долговечность от первого цикла нагружения до усталостного разрушения будет: $N = N_t + N_{ж}$ [1-5]. На стадии зарождения магистральной усталостной трещины происходит интенсивное пластическое деформирование металла в локальных объемах, что приводит к значительным замкнутым петлям гистерезиса, площадь которых равна энергии, рассеянной в течение одного цикла нагружения. Суммарная ширина этих петель гистерезиса равняется неупругой деформации за цикл. После исчерпания пластического

ресурса в локальных пластически деформированных объемах образуются микроскопические трещины, одна из которых может перерасти в магистральную трещину [6-10]. Поэтому первую стадию можно назвать стадией рассеянного усталостного повреждения. Вторая стадия характеризует развитие магистральной трещины по критическим размерам. Под первой магистральной трещиной подразумевается трещина, которая при заданном режиме нагружения развивается с большей скоростью, чем все остальные трещины, и является источником окончательного усталостного разрушения. Благодаря многочисленным экспериментальным данным установлено, что зависимость скорости $\vartheta = d\Pi/dt$ от накопления усталостных повреждений Π от числа циклов нагружения существенно различна на I-ой и II-ой стадиях усталостного разрушения. Поэтому можно предположить, что механизмы накопления повреждений на этих стадиях различны. Это требует привлечения разных представлений для оценки долговечностей N_t и $N_{ж}$.

Исследования, выполненные в ЦНИИС МТС НИИЖБ, НИС, Гидропроекте показали [11-15], что трещины усталости зарождаются, в основном, в одном из двух очагов концентрации напряжений:

- 1) В тупых углах соединения продольных ребер с наклонными с поперечными выступами (ребрами).
- 2) У основания поперечных выступов (ребер) в местах их сопряжения с телом стержня.

Следовательно, целью работы является разработка теории развития трещин усталости стальной арматуры для создания расчетных моделей арматуры с трещинами. Задачами работы являются: установить схему образования трещин усталости в арматурных стрежнях для железобетонных конструкций; разработать уравнение изменения удельной энергии разрушения стали в зонах образования и развития трещин; разработать методику расчета долговечности стальной арматуры с трещинами.

2. Материалы и методы

Для оценки локальных напряжений в основных очагах концентрации определяем эффективные коэффициенты концентрации нагружений, локальные напряжения в зоне первого очага определяются по формуле

$$\sigma_{SM} = 0,843 \cdot \sigma_s^{\max}(t) \cdot b \cdot a \cdot \frac{t \cdot h \cdot m}{\cos \beta} \quad (1)$$

где $\beta = \sqrt{\frac{k}{E_f}}$; $k = 1,45 \cdot E \cdot \frac{h}{\sqrt{\frac{b_b}{\cos \beta}}}$; $f = b \cdot h$; h – ширина поперечного ребра;

b – высота поперечного ребра;

$r = 10h$ – радиус кривизны концентрации;

$a = \frac{1}{h}$; $m = b \cdot a / 2 \cdot \cos \beta$,

Переход от местных напряжений к коэффициенту концентрации производится по формуле:

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{sh} + \sigma_M}{\sigma_{sh}} \quad (2)$$

Теоретический коэффициент концентрации напряжений во втором очаге вычисляется в следующей последовательности. Определяется радиус кривизны r в точке начала сопряжения выступа (ребра) с сердечником стержня и условная расчетная ширина выступа, a , равная расстоянию между точками начала сопряжения по обе стороны поперечного ребра. Для круговой галтели ширина a , может быть принята равной ширине выступа плюс удвоенный радиус сопряжения r . Имея отношение a/r , вычисляется теоретический коэффициент концентрации:

$$\alpha_k = 1 + 0,21 \cdot \sqrt{\frac{a'}{r}} \cdot \cos^2 \beta \quad (3)$$

где β – угол подъема наклонной части поперечного ребра.

Кроме того, в продольной рабочей арматуре изгибаемых элементов возникает неравномерное растяжение с большой эпюрой у более растянутой грани элемента.

Рассмотрим напряженное состояние стержня в первом цикле нагружения. Пусть на изгибаемый элемент действует такой изгибающий момент M , что обусловленное им поле напряжений вызывает микрповреждение в зоне влияния вышеотмеченного концентратора (см. рис. 1).

Суммарные напряжения в этой зоне вычисляются как

$$\sigma_{sk}^{max} = \sigma_s^{max}(t_0) + \sigma_{SM} + \Delta\sigma_S, \quad (4)$$

где $\sigma_s^{max}(t_0)$ – начальные номинальные напряжения в арматуре без учета концентрации напряжений;

σ_{SM} – местные напряжения в зоне концентрации;

$\Delta\sigma_S$ – приращение напряжений вследствие изгиба.

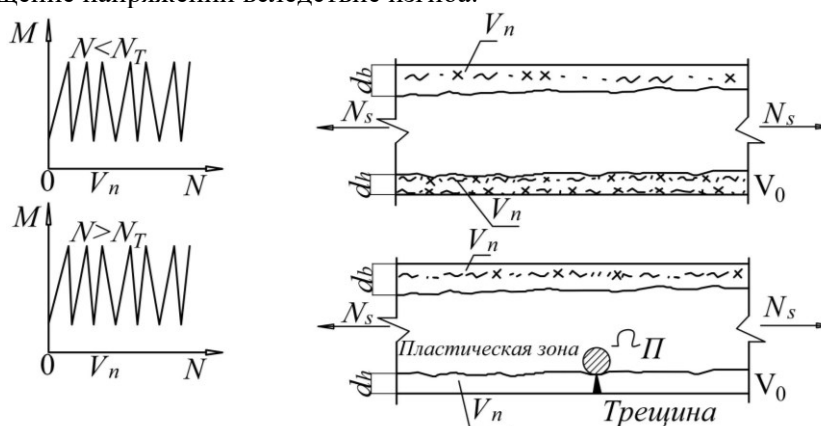


Рис. 1. Схематизация развития поврежденности в арматурном стержне при увеличении количества циклов нагружения (иллюстрация автора)

При определении долговечности N_T в первую очередь необходимо установить размеры первоначальной зоны поврежденности в местах концентрации напряжений, т.е. размеры зоны влияния концентраторов напряжения на поверхности арматурного стержня. Для этого сначала определяются напряжения в основных очагах концентрации, исходя из формул (1) и (3). В зонах концентрации напряжений, в общем случае, возникает объемное напряженное состояние. При оценке напряженно-деформированного состояния в зоне концентратора могут быть использованы те же критерии, что и при отсутствии концентрации напряжений. Объемное напряженное состояние приводит к увеличению в зонах концентрации первых главных напряжений $\bar{\sigma}_{1k}^{max}$, что приводит к проявлению упругопластических деформаций.

3. Результаты

Для определения размера зоны влияния концентратора напряжений необходимо вычислить относительный градиент первого главного напряжения σ_{1k}^{max} .

$$\sigma = \frac{\sigma}{\sigma_{max}} = \frac{1}{\sigma_{max}} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial x} \right]_{x=a}. \quad (5)$$

Градиент характеризует быстроту снижения напряжений по мере увеличения расстояния от концентратора. Для упрощения процесса вычислений реальную эпюру распределения напряжений в зоне интегрирования, являющейся касательной к эпюре в точке $x=a$. Уравнение этой прямой имеет вид:

$$\sigma_s = u + \sigma(x - a_0). \quad (6)$$

При описании закономерностей циклического деформирования материала в локальной зоне концентрации напряжений, принимаются следующие предпосылки и допущения:

- 1) в пределах начальной зоны пластической поврежденности реализуется жесткое нагружение, т.е. $\Delta\epsilon_s = const$;
- 2) на расстоянии Δl_n от очага концентрации размах напряжений $\Delta\sigma_{sk}^{max}$ и размах пластической деформации $\Delta\epsilon_{pl,sk}^{max}$ постоянны;
- 3) образование микротрещины в зоне концентрации происходит, когда a_k на расстоянии от очага концентрации и накопленная энергия

неупругой деформации с учетом рассеяния её в пределах зоны повреждения $\alpha_t (\alpha_t > \Delta l_n)$ достигает величины W_{ζ} .

Удельная энергия неупругой деформации за цикл:

$$\Delta W_i = \int_0^{\Delta \varepsilon} \Delta \sigma d(\Delta \varepsilon) = \sigma_{sh}^{max} \cdot k_{\sigma} \cdot \bar{\varepsilon} \cdot \alpha_{\sigma}^{\frac{2}{1+m}} \cdot \bar{\sigma}_h^{\frac{1-m}{1+m}} \cdot \frac{\sigma_y}{E_s}. \quad (7)$$

Энергия неупругой деформации в зоне концентрации напряжений, соответствующая пределу выносливости, определяется по формуле:

$$\Delta W_{вын} = \int_0^{\Delta \varepsilon_{пц}^n} \Delta \sigma d(\Delta \varepsilon) \quad (8)$$

где $\Delta \varepsilon_{пц}^n = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1-\psi} \cdot N_{вын}^{-1/2}$;

$N_{вын}$ – количество циклов нагружения, соответствующее пределу выносливости;

ψ – коэффициент поперечного сужения материала;

$\Delta \sigma_{вын} = \sigma_{спвын} \cdot (1 - \rho_{si})$; $\sigma_{спвын}$ – предел выносливости арматуры для заданного ρ_s .

Затем определяем потерю энергии за цикл вследствие проявления пластических деформаций в локальных объемах ΔW_r :

$$\begin{aligned} \Delta W_r &= \Delta W_i - \Delta W_{вын} = \int_0^{\Delta \varepsilon} \Delta \sigma d(\Delta \varepsilon) - \int_0^{\Delta \varepsilon_{пц}^n} \Delta \sigma_{вын} \cdot d(\Delta \varepsilon) = \\ &= (\sigma_{sh}^{max}) \cdot k_{\sigma} \bar{\varepsilon} \cdot \alpha_{\sigma}^{\frac{2}{1+m}} \cdot \sigma_{sh}^{\frac{1-m}{1+m}} \cdot \frac{\sigma_y}{E_s} - \int_0^{\Delta \varepsilon_{пц}^n} \sigma'_{спвын} \cdot (1 - \rho_{si}) \cdot d(\Delta \varepsilon). \end{aligned} \quad (9)$$

После определения ΔW_r предполагая, что потеря энергии в каждом цикле имеет одинаковую величину, вычисляем количество циклов нагружения до исчерпания пластического ресурса начальной пластически поврежденной зоны:

$$N_{T1} = \frac{0,5 \varepsilon_b^n (\sigma_y + \sigma_u) \cdot \vartheta}{(\sigma_{sh}^{max}) \cdot k_{\sigma} \bar{\varepsilon} \cdot \alpha_{\sigma}^{\frac{2}{1+m}} \cdot \sigma_{sh}^{\frac{1-m}{1+m}} \cdot \frac{\sigma_y}{E_s} - \int_0^{\Delta \varepsilon_{пц}^n} \sigma'_{спвын} \cdot (1 - \rho_{si}) \cdot d(\Delta \varepsilon)} \quad (10)$$

Достоинство уравнения (10) состоит в том, что здесь создается возможность учитывать предысторию нагружения и разные конструктивные и технологические особенности, приводящие к уменьшению ε_b^n , как следствие N_T .

При переходе от одного блока к другому меняется пластический ресурс ε_b^n и ΔW_r . Поэтому при вычислении предела выносливости удастся учесть смену режима нагружения, если $vN_1 > N_{T1}$; противном случае переменность режима не влияет на продолжительность начальной зоны поврежденности.

Затем проверяется условие:

$$N_T > N_1. \quad (11)$$

Если условие (11) выполняется, то долговечность начальной зоны больше или равняется продолжительности I-ой стадии, и на этом этапе развитие трещин не происходит; в противном случае необходимо определить приращение длины микротрещины за время $\Delta N = N_1 - N_{T1}$. Рассмотрим развитие начальной микротрещины с длиной, образовавшейся в зоне концентратора. Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что развитие микротрещин при циклическом нагружении существенно неравномерно. При этом необходимо выделить инкубационный период и период непрерывного развития трещин, которые чередуются вплоть до полного разрушения образца.

Для описания развития микротрещины на этой стадии используем модель развития усталостной трещины, предложенную и основанную на рассмотрении удельной энергии неупругой деформации, на расстоянии x^* от вершины трещины с учетом энергии, необратимо рассеиваемой в пределах пластической зоны повреждения.

Распределение деформаций и напряжений в вершине неподвижной трещины при статическом нагружении для арматурной стали может быть представлено в виде следующих зависимостей:

$$\sigma_{ij}(r, \theta) = A \left(\frac{J}{A \text{Im}} \right)^{\frac{m}{1+m}} \cdot \frac{1}{r^{\frac{m}{1+m}}} f_{ij}(\theta) \quad (12)$$

$$\varepsilon_{ij}(r, \theta) = \left(\frac{J}{A \text{Im}} \right)^{\frac{m}{1+m}} \cdot \frac{1}{r^{\frac{m}{1+m}}} \varphi_{ij}(\theta), \quad (13)$$

где J – джой-интеграл Черепанова-Раиса,

Im – безразмерная функция от показателя деформационного упрочнения m вида раскрытия трещины.

Для наиболее часто встречающихся значений m и при плоской деформации при растяжении $\text{Im} = 5/282$. Для трещин нормального разрыва нормированные функции от угла (θ).

$$f_{ij}(\theta) = \varphi_{ij}(\theta) = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases}, \quad (14)$$

где m – показатель упрочнения;

r – расстояние от вершины трещины до рассматриваемой точки,

θ – угол между продолжением трещины и рассматриваемой точкой у её вершины.

При этом связь между напряжениями и пластической деформацией представляется в виде степенной зависимости:

$$\sigma_{\varepsilon} = A \cdot \varepsilon_{\text{рз}}^m, \quad (15)$$

здесь σ_{ε} , $\varepsilon_{\text{рз}}$ эквивалентное напряжение поэнергетической теории прочности и эквивалентная пластическая деформация. для случая циклического нагружения уравнения (13) и (14) приводим к виду:

$$\Delta \varepsilon = \left(\frac{1-\nu^2}{A' \text{Im}} \right)^{\frac{m}{1+m}} \cdot \left(\frac{\Delta k^2}{E} \right)^{\frac{1}{1+m}} \cdot \frac{1}{r^{\frac{1}{1+m}}} \cdot \varphi_{ij}(\theta) \quad (16)$$

$$\Delta \sigma = \left(\frac{1-\nu^2}{A' \text{Im}} \right)^{\frac{m}{1+m}} \cdot \left(\frac{\Delta k^2}{E} \right)^{\frac{m}{1+m}} \cdot \frac{1}{r^{\frac{1}{1+m}}} \cdot f_{ij}(\theta) \quad (17)$$

Основные допущения принятой модели

1) в вершине усталостной трещины в пределах пластической зоны усталостного повреждения реализуется жесткое нагружение, т.е. $\Delta \varepsilon_s = \text{const}$;

2) на расстоянии x^* от вершины трещины размах напряжений $\Delta \sigma_s^{\text{max}}$ и размах пластической деформации $\Delta \varepsilon_{\text{pl}}^{\text{max}}$ постоянны;

3) распределение напряжений и неупругих деформаций в вершине трещины при $R_m \geq r \geq x^*$, описывается (16) и (17) уравнениями;

4) прирост длины на величину x^* происходит, когда на расстояниях x^* от вершины трещины накопленная энергия неупругой деформации с учетом рассеяния её в пределах зоны повреждения $\dot{\alpha}_m (\alpha_m \geq x^*)$ достигает величины W_R .

Размеры пластической зоны поврежденности в вершине микротрещины определяем в виде:

$$\alpha_i = \frac{k_I^{\text{max}}}{\sigma_{\text{вын}}^2 \cdot Y^2(l) \pi} \quad (18)$$

$$k_I^{\text{max}} = \sigma_s^{\text{max}}(t) \cdot \sqrt{a_1} \cdot Y(l) \quad (19)$$

Необходимо отметить, что k_I^{max} вычисленный по (19), может быть меньше k_{th} , но тем не менее развитие микротрещины будет происходить, так как известно, что поверхностные микротрещины длиной до 0,5 мм развиваются при $k_I^{\text{max}} \leq k_{\text{th}}$.

Удельная энергия неупругой деформации за цикл:

$$\Delta W = \int_0^{\Delta \varepsilon} \Delta \sigma d(\Delta \varepsilon). \quad (20)$$

Подставляя в значения $\Delta \varepsilon$ и $\Delta \sigma$, из (12) и (13) получаем:

$$\Delta W_i = \frac{(1-\nu^2)}{I_m E_s} \cdot \frac{1}{m+1} \cdot \frac{\Delta k^2}{r} \cdot \varphi_{ij}(\theta) \cdot f_{ij}(\theta). \quad (21)$$

Размер i – гомикроэлемента пластической зоны x^* можно найти из условия, что на расстоянии x^* не происходит накопление повреждений, и энергия неупругой деформации за цикл ΔW^* на расстоянии x^* от вершины трещины равна энергии неупругой деформации за цикл при напряжениях, соответствующих пределу выносливости $\Delta W_{\text{вын}}$. Тогда, исходя из (21) имеем:

$$x^* = \frac{J}{I_m \Delta W_{\text{вын}}} = \frac{\Delta k_1^2 (1-v^2)}{E \cdot I_m \cdot \Delta W_{\text{вын}}} \cdot \frac{1}{1+m}. \quad (22)$$

Энергия неупругой деформации при жестком нагружении, соответствующая пределу выносливости, определяется по формуле:

$$\Delta W_{\text{вын}} = \int_0^{\Delta \varepsilon_{\text{пц}}} \Delta \sigma_{\text{вын}} \cdot d(\Delta \varepsilon),$$

$$\Delta \varepsilon_{\text{пц}} = \frac{1}{2} l_n \frac{1}{1-\Psi} \cdot N_{\text{вын}}^{-1/2} \quad (23)$$

где Ψ – коэффициент поперечного сужения, для арматурных сталей он изменяется от 0,41 до 0,69; в среднем можно принять;

$N_{\text{вын}}$ – количество циклов нагружения, соответствующее пределу выносливости;

$\Delta \sigma_{\text{вын}} = \sigma_{\text{вын}} (1 - \rho_s(t))$;

$\sigma_{\text{вын}}$ – предел выносливости для заданного $\rho_s(t)$.

Пластическую зону поврежденности в вершине микротрещины разбиваем на отдельные микроэлементы, которые одновременно подвергаются циклическому нагружению различной интенсивности. Распределение удельной энергии неупругой деформации за цикл в пределах пластической зоны, описываемое уравнением (21), схематично показано на рис. 2.

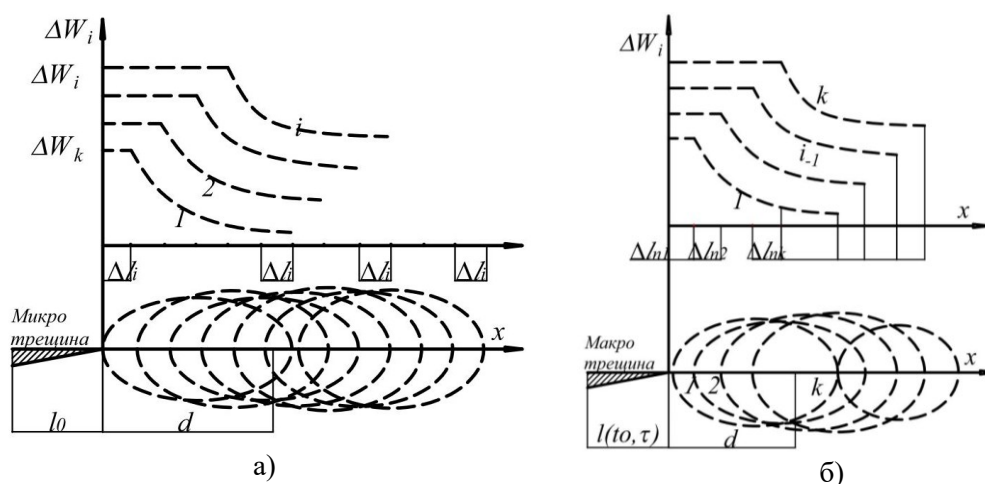


Рис.2. а) Схема накопления удельной энергии неупругой деформации стали в пределах пластической зоны в вершине микротрещины б) Схемы перемещения пластической зоны при развитии макротрещины и накопления удельной энергии неупругой деформации в пределах пластической зоны предразрушения (иллюстрация автора)

В соответствии с принятыми допущениями на расстоянии Δl от вершины микротрещины удельная энергия неупругой деформации стали имеет постоянное значение, т.е. $\Delta W_i = \Delta W_k = \text{const}$.

Развитие микротрещины начинается с разрушения микроэлемента I. полное усталостное разрушение микроэлемента I происходит при достижении, энергией неупругого гистерезиса критического значения

$$W_p = \sum_{i=1}^{N_R} \left[\Delta W_i - \Delta W_r \left(\frac{\Delta W_i}{\Delta W_r} \right)^\beta \right] = \text{const} = W_{pl} \quad (24)$$

где ΔW_r – удельная энергия неупругих деформаций за цикл при. равных пределу выносливости;

ΔW_i – удельная энергия неупругой деформации стали в i -ом цикле нагружения, вычисляется по (21).

При этом длина микротрещины увеличивается на Δl , а пластическая зона перемещается на Δl по фронту микротрещины (см. рис. 2). По вышеописанному механизму происходит постепенное увеличение длины микротрещины, и перемещение пластической зоны впереди развивающейся микротрещины. Необходимо также отметить, что этот процесс является скачкообразным, так как периоды непрерывного развития микротрещины чередуются с периодами задержки.

Условие разрушения i -го элемента описывается уравнением (24) переходя к сумме, из уравнения (24) получим:

$$\sum_{j=1}^i \Delta \bar{W}_{ij} \cdot N_j = W_p. \quad (25)$$

Учитывая (21) и (23) уравнение (25) для случая стальной арматуры перепишем в виде:

$$\Delta \bar{W}_{ij} = \Delta W_{ij} - \Delta W_r = \frac{1-v^2}{I_m E_s} \cdot \frac{1}{m'} \cdot \frac{\Delta k^2}{r_1} \cdot \varphi_{i\text{гуд}}(\theta) \cdot f_{ij}(\theta) - \int_0^{\Delta \varepsilon_{\text{пц}}} \Delta \sigma_{\text{вын}} \cdot d(\Delta \varepsilon) \quad (26)$$

где $r_1 \cong x^*$ расстояние от вершины микротрещины до правой границы i -го микроэлемента.

Учитывая (22) и (26), из (25) определяем долговечность i -го микроэлемента в циклах:

$$N_1 = \frac{0,5 \cdot \varepsilon_b^n \cdot (\sigma_y + \sigma_u)}{\frac{1-v^2}{I_m E_s} \cdot \frac{1}{m'} \cdot \frac{\Delta k^2}{r_1} \cdot \varphi_{ij}(\theta) \cdot f_{ij}(\theta) - \int_0^{\Delta \varepsilon_{\text{пц}}} \Delta \sigma_{\text{вын}} \cdot d(\Delta \varepsilon)}. \quad (27)$$

Аналогичным образом определяются долговечности 2-го, i -го микроэлементов. При этом необходимо иметь ввиду, что долговечность условных микроэлементов уменьшается с удалением рассматриваемого микроэлемента от вершины микротрещины, поскольку, чем дальше от вершины микротрещины будет, располагается микроэлемент, тем больше дополнительной энергии неупругой деформации накопится в нем из-за предварительного нагружения его напряжениями.

Проводя аналогичные вычисления, составляем общее уравнение долговечности для любого микроэлемента пластической зоны

$$N_i = \frac{0,5 \cdot \varepsilon_b^n \cdot (\sigma_y + \sigma_u) - \sum_{i=1}^{k-1} \Delta W_{i-1}}{\frac{1-v^2}{I_m E_s} \cdot \frac{1}{m'} \cdot \frac{\Delta k^2}{r_1} \cdot \varphi_{ij}(\theta) \cdot f_{ij}(\theta) - \int_0^{\Delta \varepsilon_{\text{пц}}} \Delta \sigma_{\text{вын}} \cdot d(\Delta \varepsilon)} \quad (28)$$

Далее начинается II-я стадия усталостного повреждения стадия развития магистральной трещины рис. 3. Схематически эта трещина показана на рис. 2.

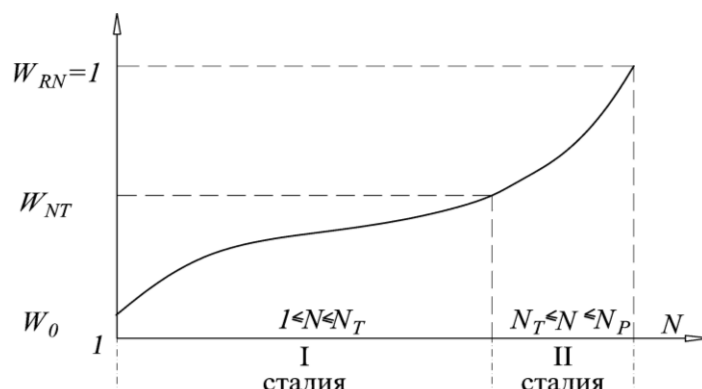


Рис.3. Схема зависимости накопления усталостных повреждений от числа циклов нагружения (иллюстрация автора)

На этой стадии распределение напряжений и деформаций в вершине макротрещины определяется коэффициентом интенсивности напряжений k_I , который является функцией приложения нагрузки, геометрии тела и расположения трещины.

Экспериментально установлено, что макротрещины образуются с двух сторон арматуры в местах соединения продольных и поперечных ребер. Тогда схема нагружения арматурного стержня будет иметь вид рис. 4.

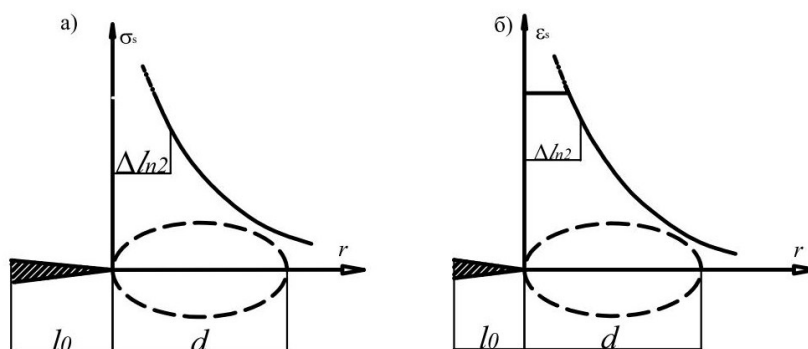


Рис 4. Пластическая зона у вершины макротрещины и распределение напряжений (а) и деформаций (б) в пределах пластической зоны и перпендикулярных к направлению трещины (иллюстрация автора)

При этом принимаем, что на расстоянии Δl_n от вершины макротрещины $\sigma_{s1} = \sigma_{sr} = \text{const}$, $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{sr} = \text{const}$, $\Delta W_1 = \Delta W_R$.

$$\sum_{j=1}^i \Delta W_{ij} \cdot N_j = W_p \quad (29)$$

Учитывая уравнение для случая стальной арматуры, приводим к виду:

$$\Delta \bar{W}_{ij} = \Delta W_{ij} - \Delta W_r = \frac{1-v^2}{l_m E_s} \cdot \frac{n'}{1+n'} \cdot \frac{\Delta k^2}{r_i} \cdot \bar{\sigma}(n') \cdot \varepsilon(n') - \int_0^{\Delta \varepsilon_{\text{пл}}} \Delta \sigma_{\text{вын}} \cdot d(\Delta \varepsilon) \quad (30)$$

где r_i – расстояние от вершины макротрещины до рассматриваемой точки.

Учитывая, определяем долговечность i -го микроэлемента в циклах:

$$N_1 = \frac{0,5 \cdot \varepsilon_b^n \cdot (\sigma_y + \sigma_u) - \sum_{j=1}^{k-1} \Delta W_{i-j}}{\frac{1-v^2}{l_m E_s} \cdot \frac{n'}{1+n'} \cdot \frac{\Delta k^2}{r_i} \cdot \bar{\sigma}(n') \cdot \varepsilon(n') - \int_0^{\Delta \varepsilon_{\text{пл}}} \Delta \sigma_{\text{вын}} \cdot d(\Delta \varepsilon)} \quad (31)$$

4. Обсуждение

Аналогичным образом определяются долговечности 2-го, i -го микроэлементов. При этом необходимо иметь ввиду, что долговечность условных микроэлементов уменьшается с удалением рассматриваемого микроэлемента от вершины макротрещины, поскольку, чем дальше от вершины макротрещины будет располагаться микроэлемент, тем больше дополнительной энергии неупругой деформации накопится в нем из-за предварительного нагружения его напряжениями $\Delta \sigma \cdot \varphi(\xi)$, где $\varphi(\xi)$ коэффициент снижения напряжений растяжения по мере удаления от вершины макротрещины).

Учитывая вышеизложенное и уравнения напишем общую формулу вычисления долговечности i -го элемента в пределах пластической зоны, когда $l_0 < l \leq l_0 + d$.

$$N_i = \frac{0,5 \cdot \varepsilon_b^n \cdot (\sigma_y + \sigma_u) - \sum_{j=1}^{k-1} \Delta W_{i-j}}{\frac{1-v^2}{l_m E_s} \cdot \frac{n'}{1+n'} \cdot \frac{\Delta k^2}{r_i} \cdot \bar{\sigma}(n') \cdot \varepsilon(n') - \int_0^{\Delta \varepsilon_{\text{пл}}} \Delta \sigma_{\text{вын}} \cdot d(\Delta \varepsilon)} \quad (32)$$

Энергия предварительного неупругого деформирования вычисляется по форме:

$$\Delta W_{np(i-1)} = \frac{1-v^2}{l_m E_s} \cdot \frac{n'}{1+n'} \cdot \frac{\Delta k_{\xi i+1}^2}{l_0 + nd + (i-1)\Delta l_n} \cdot \bar{\sigma}(n') \cdot \varepsilon(n') - \int_0^{\Delta \varepsilon_{\text{пл}}} \Delta \sigma_{\text{вын}} \cdot d(\Delta \varepsilon) \quad (33)$$

где $\Delta k_{\xi i+1}^2$ – размах коэффициента интенсивности напряжений для длины макротрещины $l(t) = l_0 + nd + (i-1)\Delta l_n$.

Исходя из уравнений (32) и (33), определяем долговечность i -го микроэлемента в пределах пластической зоны для случая, когда $l(t) > l_0 + d$.

$$N_i = \frac{0,5 \cdot \varepsilon_b^n \cdot (\sigma_y + \sigma_u) - \sum_{j=1}^{k-1} \Delta W_{np(i-j)}}{\frac{1-v^2}{l_m E_s} \cdot \frac{n'}{1+n'} \cdot \frac{\Delta k^2}{l_0 + nd + (i-1)\Delta l_n} \cdot \bar{\sigma}(n') \cdot \varepsilon(n') - \int_0^{\Delta \varepsilon_{\text{пл}}} \Delta \sigma_{\text{вын}} \cdot d(\Delta \varepsilon)} \quad (34)$$

Количество циклов нагружения до увеличения длины макротрещины $l(t) = l_0 + 2d$ будет:

$$N_{k1} = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_{k-1} + N_{k1} = \sum_{i=1}^{k1} N_i \quad (35)$$

По вышеописанному механизму происходит скачкообразное развитие макротрещины до тех пор, пока:

$$l(t_i) < l_u \quad (36)$$

После нарушения условия (36), если не произойдет уменьшение уровня нагрузки,

начинается динамическое нестабильное развитие макротрещины, что, в конце концов, приводит к усталостному разрыву арматурного стержня.

Существующие методы определения долговечности арматурных стержней железобетонных конструкций, в отличие от разработанного автором метода, основываются на методе линейного накопления усталостных повреждений. По этой причине, фактические значения отличаются от расчетных в десятки раз в сторону запаса.

Предлагаемый метод позволяет рассчитывать долговечность с точностью в пределах 15 % в сторону запаса.

5. Заключение

Выполненные теоретические исследования усталостной прочности стальной арматуры железобетонных конструкций при режимном нагружении позволили установить следующие основные закономерности усталостного разрушения арматуры:

1. основной причиной усталостного разрушения стальной арматуры железобетонных конструкций является образование и развитие микро- и макротрещин усталости в структуре металла в местах соединения продольных и поперечных ребер арматуры;

2. разработана новая теория, описывающая развитие микро- и макротрещин усталости и установлены схемы образования трещин усталости в арматурных стержнях железобетонных конструкций;

3. впервые разработано уравнение изменения удельной энергии разрушения стали в зонах образования и развития трещин;

4. разработаны уравнения долговечности арматуры до исчерпания пластического ресурса начальной пластически поврежденной зоны и долговечности до исчерпания пластического ресурса поврежденной зоны перед вершиной макротрещины;

5. получены аналитические уравнения изменения основных силовых параметров, характеризующих сопротивление арматуры развитию усталостных трещин.

Список библиографических ссылок

1. Atutis E., Valivonis J., Atutis M. Deflection determination method for bfrp prestressed concrete beams under fatigue loading // Compos. Struct. 2019. № 226. P. 111182. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111182.
2. Kim G., Loreto G., Kim J.-Y., Kurtis K. E., Wall J. J., Jacobs L. J. In situ nonlinear ultrasonic technique for monitoring microcracking in concrete subjected to creep and cyclic loading // Ultrasonics. 2018. №88. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ultras.2018.03.006.
3. Li Q., Liu M., Lu Z., Deng X. Creep Model of High-Strength High-Performance Concrete Under Cyclic Loading // J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed. 2019. №3 (34). P. 622–629. DOI: 10.1007/s11595-019-2096-9.
4. Chen P., Zhou X., Zheng W., Wang Y., Bao B. Influence of high sustained loads and longitudinal reinforcement on long-term deformation of reinforced concrete beams // J. Build. Eng. 2020. № 30. DOI: 10.1016/j.job.2020.101241.
5. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of creep behavior of FRP-externally strengthened reinforced concrete beams // Eng. Struct. 2020. №204. P. 109908. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109908.
6. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the heat monitoring method // Mech. Solids. 2010. №1(45). P.133–139. DOI: 10.3103/S0025654410010164.
7. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // Int. J. Concr. Struct. Mater. 2019. №1(13). DOI: 10.1186/s40069-019-0340-5.
8. Zamaliev F. S., Zakirov M. A. Stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab under long-term // Magazine of Civil Engineering. 2018. P. 12–23.
9. Tang H., Chen Z., Avinesh O., Guo H., Meng Z., Engler-Pinto C., Kang H. Notch Insensitivity in Fatigue Failure of Chopped Carbon Fiber Chip-Reinforced Composites

- Using Experimental and Computational Analysis // Compos. Struct. 2020. №10(16). P. 112280. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112280.
10. Choe G., Shinohara Y., Kim G., Lee S., Lee E., Nam J. Concrete corrosion cracking and transverse bar strain behavior in a reinforced concrete column under simulated marine conditions // Appl. Sci. 2020. №5(10). DOI:10.3390/app10051794.
 11. Gambarelli S., Ozbolt J. Interaction between damage and time-dependent deformation of mortar in concrete: 3D FE study at meso-scale // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019. № 615. P. 012013. DOI:10.1088/1757-899X/615/1/012013.
 12. Augeard E., Ferrier E., Michel L. Mechanical behavior of timber-concrete composite members under cyclic loading and creep // Eng. Struct. 2020. №210. P. 110289. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110289.
 13. Trekin N. N., Kodysh E. N., Mamin A. N., Trekin D. N., Onana J. Improving methods of evaluating the crack resistance of concrete structures // American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2018. № 326. P. 93.1–93.6.
 14. Liang J., Nie X., Masud M., Li J., Mo Y. L. A study on the simulation method for fatigue damage behavior of reinforced concrete structures // Eng. Struct. 2017. № 150, P. 25–38. DOI:10.1016/j.engstruct.2017.07.001
 15. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // Adv. Mater. Sci. Eng. 2018. P. 1-5.

Mirsayapov Ilizar Talgatovich

doctor of technical sciences, professor

Email: mirsayapov1@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Theoretical basis of fatigue failure of steel reinforcement of reinforced concrete structures

Abstract

Problem Statement. In reinforced concrete structures under cyclic loads one of the types of failure is fatigue failure of working reinforcement. Operation mode of steel reinforcement in reinforced concrete constructions is non-stationary irrespective of loading conditions in these cases determination of fatigue resistance of reinforcement requires a great number of experiments which requires a great number of financial and manpower resources. The aim of the work is to develop a theory of fatigue cracking of steel reinforcement to create design models of reinforcement with cracks, for this purpose it is necessary: to establish the scheme of fatigue crack formation in reinforcement rods for reinforced concrete structures; to develop the equation of change in specific energy of steel fracture in the zones of crack formation and development; to develop a methodology for calculating the durability of steel reinforcement with cracks.

Results. Theoretical research of fatigue strength of steel reinforcement has been carried out. It is established, that fatigue failure of steel reinforcement is characterized by formation and development of micro and macro cracks in metal structure up to critical dimensions; two basic stages are derived: to the formation of micro and macro fatigue cracks; development of macro-fatigue cracks to critical dimensions. The methods of fracture mechanics of elastoplastic materials were used for modeling of steel reinforcement operation under cyclic mode of deformation and the equations of change of mechanical characteristics of reinforcement under different modes of cyclic loading were obtained using these methods. On the basis of theoretical research the equations of change of basic force parameters of steel reinforcement have been obtained, which allows developing analytical formulas for evaluation of fatigue strength under cyclic loading.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry lies in the fact that the proposed calculation models allow reducing the cost of reinforcement fatigue resistance studies to two times and labour input to three times as compared with the conventional experimental studies.

Keywords: steel reinforcement, stress design profile, fatigue crack, damage, plastic life, specific energy, concrete creep stress, elastic work of reinforcement.

For citation: Mirsayapov Ilizar T. Theoretical basis of fatigue failure of steel reinforcement of reinforced concrete structures // Izvetija KGASU. 2021. № 4 (58). P. 15–25. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_15.

References

1. Atutis E., Valivonis J., Atutis M. Deflection determination method for bfrp prestressed concrete beams under fatigue loading // Compos. Struct. 2019. № 226. P. 111182. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111182.
2. Kim G., Loreto G., Kim J.-Y., Kurtis K. E., Wall J. J., Jacobs L. J. In situ nonlinear ultrasonic technique for monitoring microcracking in concrete subjected to creep and cyclic loading // Ultrasonics. 2018. №88. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ultras.2018.03.006.
3. Li Q., Liu M., Lu Z., Deng X. Creep Model of High-Strength High-Performance Concrete Under Cyclic Loading // J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed. 2019. №3 (34). P. 622–629. DOI: 10.1007/s11595-019-2096-9.
4. Chen P., Zhou X., Zheng W., Wang Y., Bao B. Influence of high sustained loads and longitudinal reinforcement on long-term deformation of reinforced concrete beams // J. Build. Eng. 2020. № 30. DOI: 10.1016/j.job.2020.101241.
5. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of creep behavior of FRP-externally strengthened reinforced concrete beams // Eng. Struct. 2020. №204. P. 109908. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109908.
6. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the heat monitoring method // Mech. Solids. 2010. №1(45). P.133–139. DOI: 10.3103/S0025654410010164.
7. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // Int. J. Concr. Struct. Mater. 2019. №1(13). DOI: 10.1186/s40069-019-0340-5.
8. Zamaliev F. S., Zakirov M. A. Stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab under long-term // Magazine of Civil Engineering. 2018. P. 12–23.
9. Tang H., Chen Z., Avinesh O., Guo H., Meng Z., Engler-Pinto C., Kang H. Notch Insensitivity in Fatigue Failure of Chopped Carbon Fiber Chip-Reinforced Composites Using Experimental and Computational Analysis // Compos. Struct. 2020. №10(16). P. 112280. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112280.
10. Choe G., Shinohara Y., Kim G., Lee S., Lee E., Nam J. Concrete corrosion cracking and transverse bar strain behavior in a reinforced concrete column under simulated marine conditions // Appl. Sci. 2020. №5(10). DOI:10.3390/app10051794.
11. Gambarelli S., Ožbolt J. Interaction between damage and time-dependent deformation of mortar in concrete: 3D FE study at meso-scale // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019. № 615. P. 012013. DOI:10.1088/1757-899X/615/1/012013.
12. Augéard E., Ferrier E., Michel L. Mechanical behavior of timber-concrete composite members under cyclic loading and creep // Eng. Struct. 2020. №210. P. 110289. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110289.
13. Trekin N. N., Kodysh E. N., Mamin A. N., Trekin D. N., Onana J. Improving methods of evaluating the crack resistance of concrete structures // American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2018. № 326. P. 93.1–93.6.
14. Liang J., Nie X., Masud M., Li J., Mo Y. L. A study on the simulation method for fatigue damage behavior of reinforced concrete structures // Eng. Struct. 2017. № 150, P. 25–38. DOI:10.1016/j.engstruct.2017.07.001
15. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // Adv. Mater. Sci. Eng. 2018. P. 1-5.

УДК 69.07

Палагин Николай Григорьевич

кандидат технических наук, доцент

Email: pal_nik11@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Ахметов Марат Марселевич

инженер

Email: marat9701@yandex.ru

ООО «Артемиды»

Адрес организации: 426010, Россия, г. Ижевск, ул. Автономная, д. 87

Гридчин Анатолий Митрофанович

доктор технических наук, профессор

Email: prezident@intbel.ru

Череватова Алла Васильевна

доктор технических наук, профессор

Email: cherry_611@mail.ru

Белгородский Государственный Технологический Университет им. В. Г. Шухова

Адрес организации: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Экономическая целесообразность изготовления многопустотных плит перекрытий из высокопрочного песчаного бетона

Аннотация

Постановка задачи. Проведены исследования по выявлению экономической целесообразности изготовления многопустотных плит перекрытий высотой 220 мм, имеющих круглые пустоты диаметром 159 мм, ненапрягаемую арматуру (серия 1.141-1, выпуск 60) и предварительно напряженную арматуру класса А800 (серия 1.141-1, выпуск 63), из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 в сравнении с плитами из тяжелого бетона классов В15...В80 применительно к городу Казань.

Проведение исследований обусловлено отсутствием месторождений крупного заполнителя на большей части европейской территории Российской Федерации или наличием месторождений осадочных пород, ограниченно пригодных для применения в железобетоне, при повсеместном наличии песка, а также известной экономической эффективностью применения высокопрочного бетона при изготовлении несущих конструкций.

Задачи исследований состояли в сравнении технико-экономических показателей плит из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 с показателями плит из тяжелого бетона классов В15...В80.

Исследования проводились инженерным методом расчета по действующим нормам с использованием ПК MS Excel. Прочностные и деформативные характеристики высокопрочного песчаного бетона принимались по результатам исследований кафедры ТСМиК КГАСУ, полученных для бетонов на песках местных месторождений.

Результаты. Повышение класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона не сказывается на общем расходе стали. По стоимости материалов во всех случаях наиболее экономичным является применение тяжелого бетона минимального класса (В15 в плитах с ненапрягаемой арматурой и В20 в плитах с предварительно напряженной арматурой).

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении экономичных решений по расходу материалов в зависимости от класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона для многопустотных плит перекрытий длиной до 6,3 м с ненапрягаемой арматурой класса А500С и с предварительно напряженной арматурой класса А800.

Ключевые слова: высокопрочный песчаный бетон, тяжелый бетон, многопустотные плиты перекрытий с ненапрягаемой и предварительно напряженной арматурой, расчетная нагрузка, типоразмер, экономическая эффективность.

Для цитирования: Палагин Н. Г., Ахметов М. М., Гридчин А. М., Череватова А. В. Экономическая целесообразность изготовления многопустотных плит перекрытий из высокопрочного песчаного бетона // Известия КГАСУ. 2021. №4 (58). С. 26-38. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_26.

1. Введение

Объектом исследований являются железобетонные многопустотные плиты перекрытий высотой 220 мм с круглыми пустотами диаметром 159 мм, имеющие круглые пустоты диаметром 159 мм, ненапрягаемую арматуру (серия 1.141-1, выпуск 60) и предварительно напряженную арматуру класса А800 (серия 1.141-1, выпуск 63).

В мировой практике строительства все большее использование находят высокопрочные и сверхвысокопрочные тяжелые бетоны нового поколения, которые позволяют значительно уменьшать размеры сечений элементов, экономить бетон и арматуру [1]. Их применение открыло практически безграничные возможности для возведения уникальных зданий и сооружений по всему миру. В России внедрение таких бетонов началось значительно позже, чем в западно-европейских странах, США, Канаде и Японии. Одними из наиболее известных объектов, возведенных из тяжелых бетонов классов В80...В90, являются строения комплекса «Федерация» ММДЦ «Москва Сити» и общественно-делового комплекса «Лахта-Центр» в г. Санкт-Петербург [2].

Альтернативой высокопрочному тяжелому бетону выступает высокопрочный песчаный бетон (ВПБ) [3]. Его состав включает в себя фракционированный кварцевый песок, высокоактивное вяжущее и эффективные модификаторы. В качестве химических добавок в основном используются пластификаторы, позволяющие значительно снизить водопотребность бетонной смеси и расход цемента (С-3/2,5, Sika VC5-800/2,5, Metflux 2651/2,5) [4].

Применение песчаного бетона имеет следующие преимущества по сравнению с тяжелым бетоном: высококачественную структуру и высокую технологичность, более высокую водо- и газонепроницаемость, и износостойкость, повышенную стойкость к химически активным веществам, возможность получения тонкостенных конструкций, декоративных бетонов и др.

Песчаные бетоны имеют и недостатки, обусловленные большой поверхностью заполнителей. Это ведет к увеличению расхода цемента на 15-20 % по сравнению с равнопрочным тяжелым бетоном. Поэтому при их изготовлении наряду с пластифицирующими в состав вводятся также минеральные добавки или используются композиционные цементы или цементы низкой водопотребности. Также для песчаных бетонов характерно повышенное воздухоовлечение, для снижения которого следует использовать эффективные разжижители или пеногасители.

В Российской Федерации песчаный бетон находит применение в строительстве по причине повсеместного наличия сырьевой базы. Так, на территории Республики Татарстан известно свыше 50 месторождений песка, прогнозные ресурсы строительных песков в республике составляют 1 млрд. м³, в том числе реальные для обработки - около 300 млн. м³. Согласно стратегии экологической безопасности Республики Татарстан и развития природно-ресурсного комплекса республики на 2017-2021 годы и на перспективу до 2030 года перед промышленностью строительных материалов поставлена задача расширения ассортимента продукции, выпускаемой из местного минерального сырья.

В связи с тем, что большая часть европейской территории России (Москва, Московская область, Поволжье, Вологда и др.) не имеет месторождений крупного заполнителя или имеет месторождения осадочных пород, которые ограничено пригодны для применения в железобетоне, использование песчаного бетона является актуальной задачей при его производстве. Кроме того, добыча камня и его переработка на щебень требует значительных затрат электроэнергии и является трудоемкой. При производстве щебня фракции более 5 мм образуется большое количество (до 20-30%) отсевов фракции менее 5 мм, занимающих значительные площади и нарушающих тем самым экологический баланс природы. Лишь в незначительном количестве эти отходы используются в качестве сырья для приготовления известняковой муки и минерального порошка для асфальтобетона. Разрушение гор при добыче щебня приводит к необратимым климатическим изменениям в Карелии, Северном Кавказе и на Урале, с чем не раз

выступали средства массовой информации. Использование песка в качестве заполнителя для бетона вместо щебня наносит меньший урон экологии.

Внедрение высокопрочных песчаных бетонов с применением речных песков Республики Татарстан и химических добавок является альтернативой традиционным бетонам, для получения которых необходим высокопрочный щебень, поставляемый с Урала.

На кафедре ТСМиК КГАСУ на базе песков местных месторождений рек Камы, Волги и Вятки разработаны составы песчаных бетонов высоких классов ВПБ60...ВПБ80, прочностные характеристики которых (R_b , R_{bt} , $R_{b,ser}$, $R_{bt,ser}$) превышают значения для тяжелого бетона тех же классов в 1,05...2,05 раза, а модуль упругости E_b меньше в 1,02...1,04 раза.

Обзор зарубежной и отечественной литературы показал, что практически отсутствуют исследования по использованию песчаного и высокопрочного песчаного бетона в несущих конструкциях. В основном изучаются вопросы оптимизации их состава [5 - 8] и долговечности [9, 10]. Проводятся также исследования по определению их различных механических характеристик [11 - 14].

В [15] и [16] указывается на значительный потенциал применения песчаных бетонов в аддитивных технологиях возведения зданий и сооружений методом 3D-печати. Многочисленные исследования свидетельствуют о необходимости их эффективного применения по причине отсутствия крупного заполнителя, приводящего к значительным деформациям свеженапечатанных слоев и дефектам его структуры.

Изучению вопроса экономичности применения высокопрочных песчаных бетонов в несущих конструкциях посвящены работы [17 - 19]. В [17] приводятся результаты исследований по определению экономической эффективности возведения сборных и монолитных длинных цилиндрических оболочек из ВПБ классов ВПБ60 и ВПБ80 по сравнению с тяжелым бетоном классов В20...В80. Исследования показали, что применительно к городу Казань использование ВПБ по сравнению с тяжелым позволяет уменьшить расход стали до 30,6 %, бетона - до 15,9 %, общую стоимость материалов – до 20,3 %. В статье [18] выявлена экономическая эффективность возведения сборных и монолитных пологих оболочек положительной гауссовой кривизны из ВПБ классов ВПБ60 и ВПБ80 по сравнению с тяжелым бетоном классов В25...В80 применительно к городу Казань. Исследования показали, что использование ВПБ по сравнению с тяжелым уменьшает расход стали до 43,0 %, бетона – до 12,9 %, общую стоимость материалов - до 29,4 %. В [19] приведены результаты исследований по определению экономической эффективности изготовления сплошных колонн одноэтажных промышленных зданий с мостовыми кранами по серии 1.424.1-5 из ВПБ классов ВПБ60 и ВПБ80 по сравнению с тяжелым бетоном классов В20...В80. Исследования показали, что применительно к городу Казань использование ВПБ классов ВПБ60 и ВПБ80 по сравнению с тяжелым бетоном классов В20...В40 уменьшает расход стали до 71,5%. При этом общая стоимость материалов при применении тяжелого бетона классов В20...В40 оказалась ниже на 1,7%...38,1%, чем при ВПБ60 и ВПБ80.

Несмотря на перечисленные выше преимущества, на сегодняшний день в Республике Татарстан и России песчаный бетон не находит широкого применения. Его использование ограничивается покрытиями для полов промышленных зданий, а также изготовлением мелкоштучных и различных декоративных архитектурно-отделочных изделий.

В соответствии с вышесказанным, необходимо продолжать работу по проектированию из ВПБ различных строительных конструкций, в т.ч. и несущих. Единственным критерием эффективности его использования должна быть экономическая целесообразность. В связи с этим рассматриваемая в статье тема является актуальной для развития строительной отрасли как Республики Татарстан, так и России в целом.

Цель исследований состояла в выявлении экономической целесообразности изготовления многопустотных плит перекрытий высотой 220 мм, имеющих круглые пустоты диаметром 159 мм, ненапрягаемую арматуру (серия 1.141-1, выпуск 60) и предварительно напряженную арматуру класса А800 (серия 1.141-1, выпуск 63), из

высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 в сравнении с плитами из тяжелого бетона классов В15...В80 применительно к городу Казань.

Задачами исследований были следующие:

1. выявить влияние повышения класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона многопустотных плит перекрытий с ненапрягаемой и предварительно напряженной арматурой на требуемый и принятый расход стали, а также на общую стоимость материалов;

2. выполнить сравнение технико-экономических показателей плит из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 с показателями применяемых в типовой серии плит с ненапрягаемой арматурой из тяжелого бетона класса В15 и предварительно напряженных плит с напрягаемой арматурой класса А800 из тяжелого бетона класса В20.

2. Материалы и методы

Исследовались железобетонные многопустотные плиты перекрытий из тяжелого бетона средней прочности классов В15, В25, В40 и тяжелого высокопрочного бетона классов В60, В80 (с ненапрягаемой арматурой), из тяжелого бетона средней прочности классов В20, В30, В40 и тяжелого высокопрочного бетона классов В60, В80 (с предварительно напряженной арматурой), высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 (с ненапрягаемой и предварительно напряженной арматурой). Размеры в плане плит с ненапрягаемой арматурой составляют 2380×990 мм, 2380×1490 мм, 4180×990 мм, 4180×1490 мм, с предварительно напряженной – 4780×990 мм, 4780×1490 мм, 6280×990 мм, 6280×1490 мм.

Расчетная нагрузка без учета собственного веса плит составляла 3 и 8 кН/м². Длина плит и нагрузки приняты минимальными и максимальными, применяемыми в типовой серии. Класс рабочей продольной рабочей арматуры – А500С (в плитах с ненапрягаемой арматурой), А800 (в плитах с предварительно напряженной арматурой), поперечной и конструктивной арматуры – В500С, монтажных петель – А240С. Способ натяжения – электротермический на упоры формы. Было рассмотрено 16 вариантов плит, отличающихся типоразмерами и (или) величиной нагрузки. С учетом различных вариантов плит, видов и классов бетона общее число рассмотренных случаев составило 112.

Были выполнены расчеты плит по I и II группам предельных состояний в стадии эксплуатации. При этом использовались следующие нормативные документы: СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (с изменением № 1), СП 311.1325800.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции из высокопрочных бетонов. Правила проектирования», методическое пособие «Расчет железобетонных конструкций без предварительно напряженной арматуры (к СП 63.13330.2012)» - М., 2015, «Методическое пособие по расчету предварительно напряженных железобетонных конструкций (к СП 63.13330.2012) - М., 2015 и «Инструкция по расчету и проектированию конструкций из высокопрочных тяжелых бетонов классов В60-В90 и мелкозернистых бетонов классов В50-В90» - М., 2015.

Прочностные и деформативные характеристики тяжелого бетона и арматуры принимались в соответствии с вышеуказанными нормами, а высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 – согласно результатам исследований кафедры ТСМиК КГАСУ, полученных для бетонов на песках местных месторождений. Для тяжелого бетона класса В80 и высокопрочного песчаного бетона класса ВПБ80 значения расчетного сопротивления бетона осевому сжатию (R_b) и растяжению (R_{bt}) приняты с учетом понижающего коэффициента, учитывающего увеличение хрупкости высокопрочных бетонов в связи с уменьшением деформаций ползучести ($\gamma_{b,br}$), равного

$$\gamma_{b,br} = (360 - B) / 300, \quad (1)$$

где В – класс бетона.

Коэффициент надежности по ответственности (γ_n) принимался равным 1,0.

Для автоматизации расчетов было составлено 8 блок-схем и соответствующая им единая программа расчета в MS Excel, тестирование которой показало полную сходимость

с результатами ручного счета. По данной программе были выполнены расчеты для всех указанных выше 112 случаев различных вариантов плит, видов и классов бетона.

Конструирование плит выполнялось с соблюдением следующих конструктивных требований. Продольная рабочая арматура устанавливалась не реже, чем через две пустоты. В случае отсутствия необходимости по расчету поперечная арматура не устанавливалась. Минимальный диаметр арматуры класса А500С – 6 мм, А800 – 10 мм, В500С – 3 мм. Сетки и каркасы изготавливались с выполнением условия свариваемости. Конструкция монтажных петель принималась по типовой серии.

Для всех рассмотренных случаев с помощью составленной в MS Excel программы определялся расход материалов (бетона и арматуры), а также суммарная их стоимость. Стоимость обоих видов бетона и арматуры была принята по ценам, актуальным для города Казани на октябрь 2021 г.

3. Результаты

Некоторые результаты расчетов приведены на рис. 1...4, на которых принята следующая маркировка плит: «ПК» - плита круглопустотная, первая цифра – длина плиты в дм, вторая – ширина в дм, третья – расчетная нагрузка без учета собственного веса плиты, кН/м².

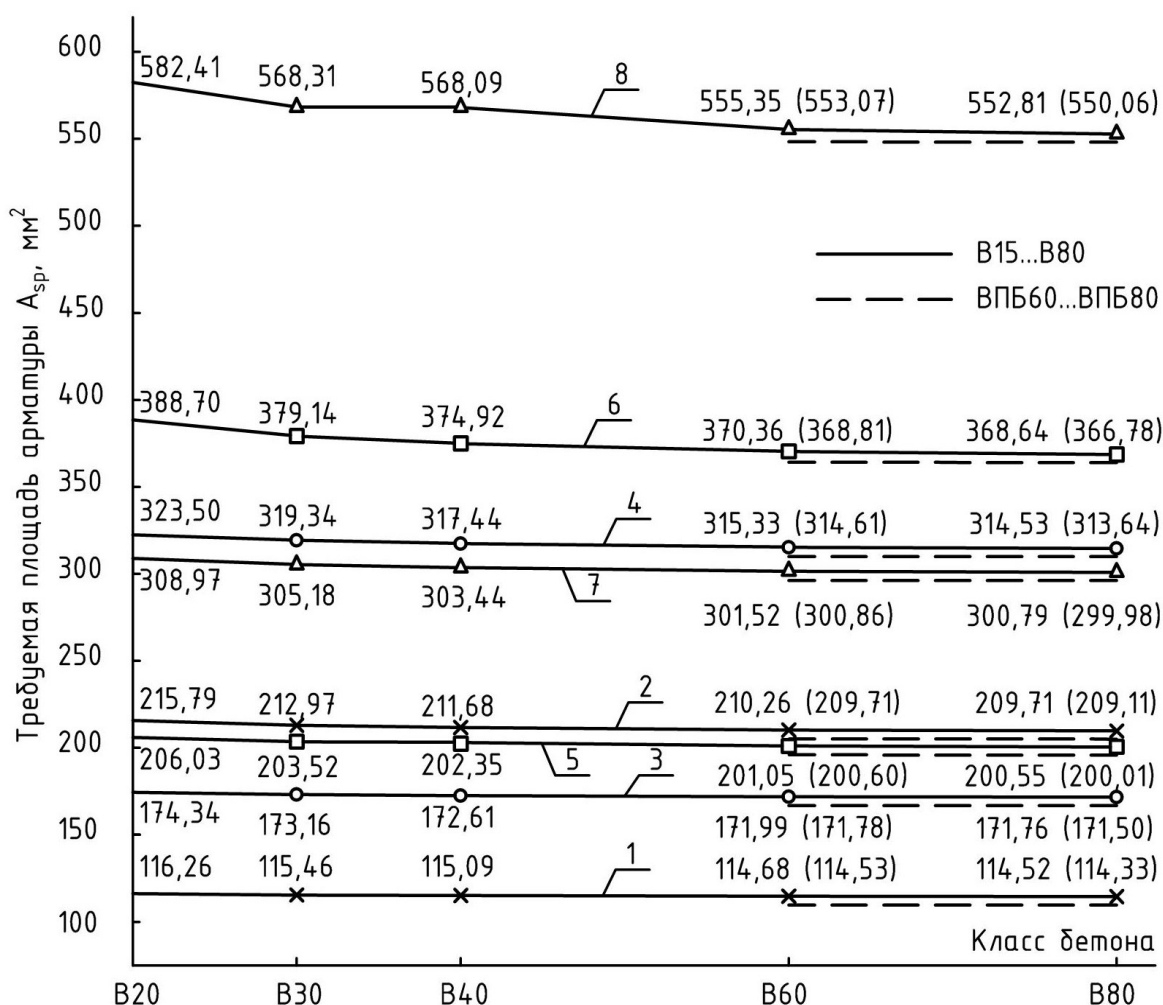


Рис. 1 Графики зависимости требуемой площади предварительно напряженной арматуры от вида и класса бетона. 1 – ПК48.10.3; 2 – ПК48.10.8; 3 – ПК48.15.3; 4 – ПК48.15.8; 5 – ПК63.10.3; 6 – ПК63.10.8; 7 – ПК63.15.3; 8 – ПК63.15.8 (иллюстрация авторов).

В скобках приведены значения для классов ВПБ60 и ВПБ80

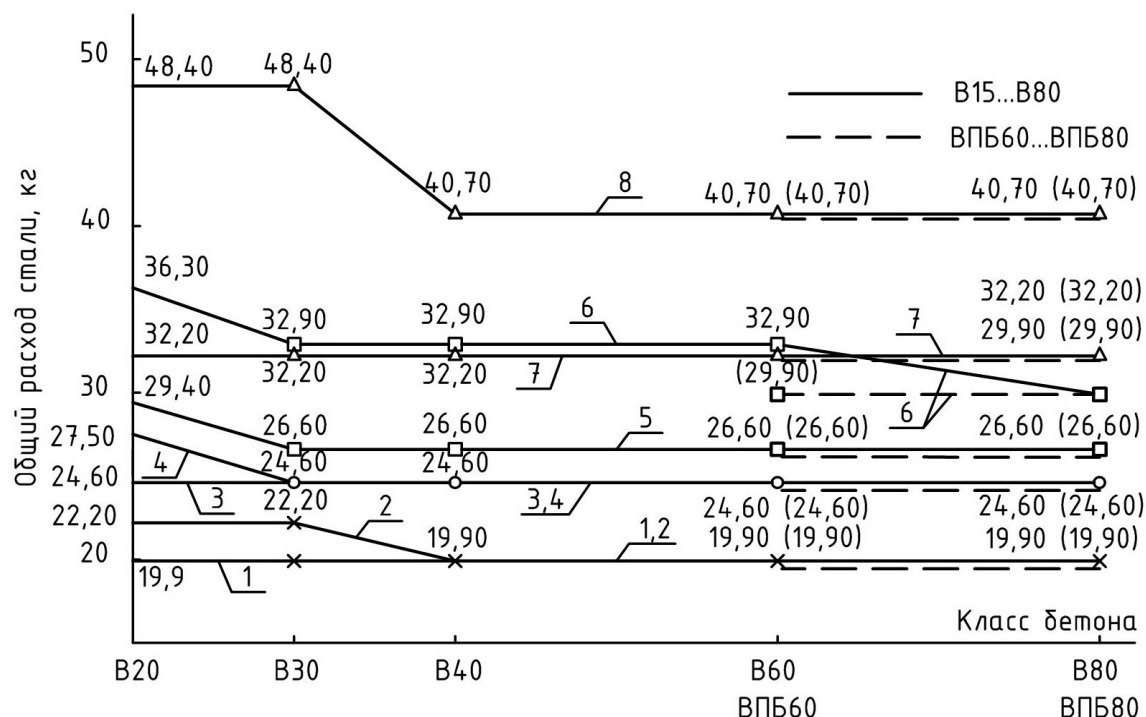


Рис. 2 Графики зависимости принятого общего расхода стали в предварительно напряженных плитах от вида и класса бетона. 1 – ПК48.10.3; 2 – ПК48.10.8; 3 – ПК48.15.3; 4 – ПК48.15.8; 5 – ПК63.10.3; 6 – ПК63.10.8; 7 – ПК63.15.3; 8 – ПК63.15.8 (иллюстрация авторов). В скобках приведены значения для классов ВПБ60 и ВПБ80

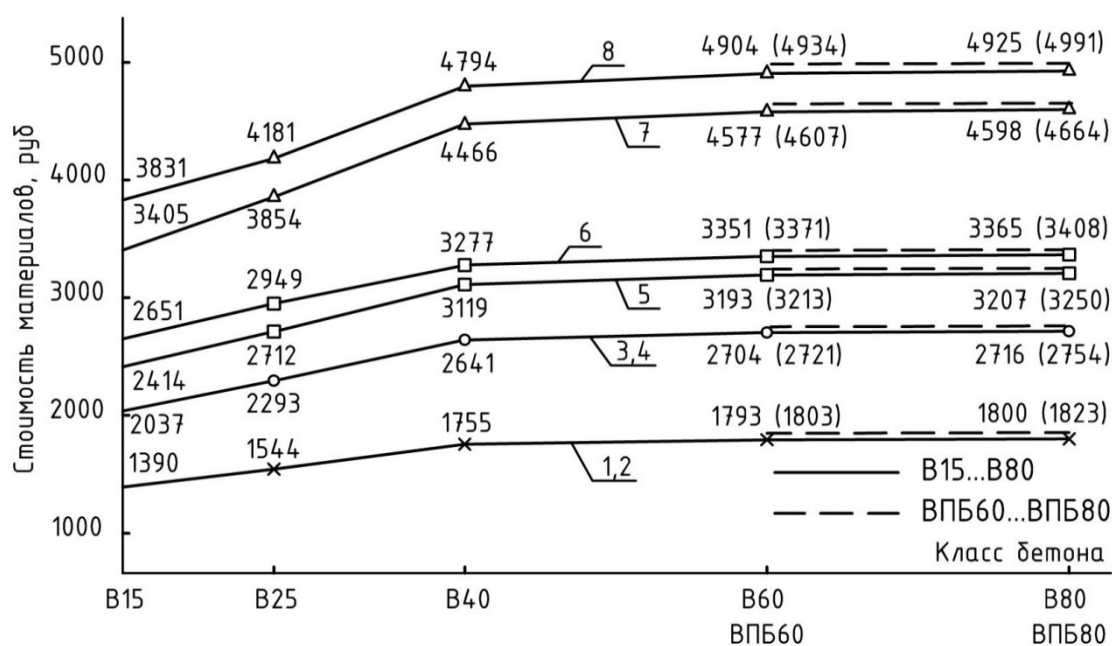


Рис. 3 Графики зависимости общей стоимости материалов плит с ненапрягаемой арматурой от вида и класса бетона. 1 – ПК24.10.3; 2 – ПК24.10.8; 3 – ПК24.15.3; 4 – ПК24.15.8; 5 – ПК42.10.3; 6 – ПК42.10.8; 7 – ПК42.15.3; 8 – ПК42.15.8 (иллюстрация авторов). В скобках приведены значения для классов ВПБ60 и ВПБ80

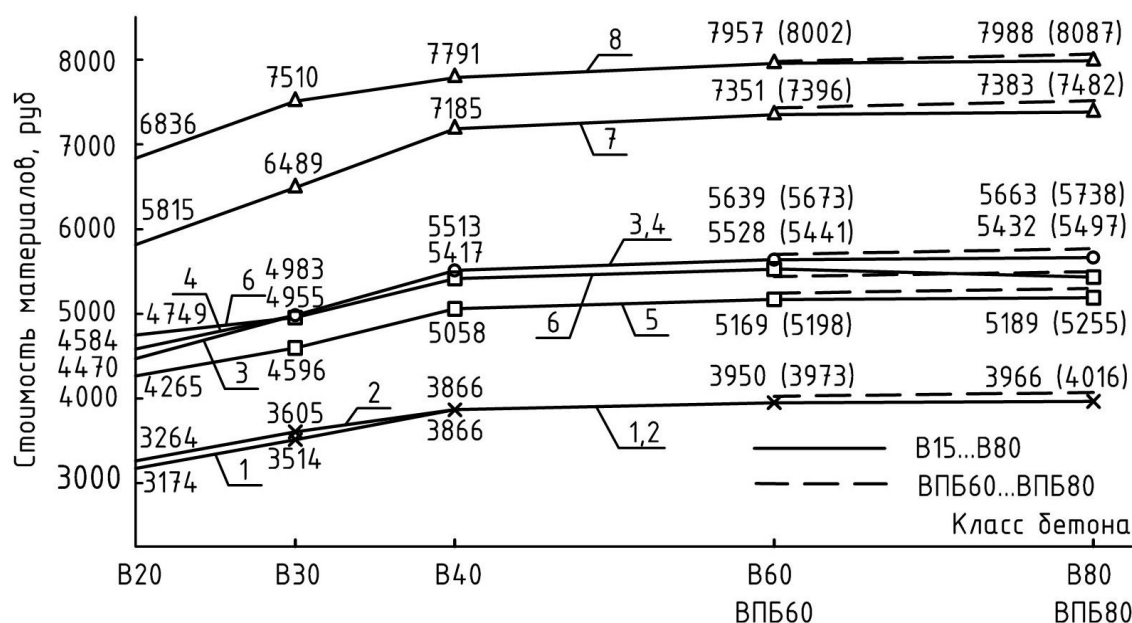


Рис. 4 Графики зависимости общей стоимости материалов плит с предварительно напряженной арматурой от вида и класса бетона. 1 – ПК48.10.3; 2 – ПК48.10.8; 3 – ПК48.15.3; 4 – ПК48.15.8; 5 – ПК63.10.3; 6 – ПК63.10.8; 7 – ПК63.15.3; 8 – ПК63.15.8 (иллюстрация авторов). В скобках приведены значения для классов ВПБ60 и ВПБ80

Сравнение технико-экономических показателей плит из тяжелого бетона классов В15...В80, ВПБ60 и ВПБ80 с ненапрягаемой и предварительно напряженной арматурой для всех рассмотренных случаев показало следующее:

- с повышением класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона требуемая площадь сечения ненапрягаемой (A_s) и предварительно напряженной арматуры (A_{sp}) снижается. Так, в плитах с ненапрягаемой арматурой при увеличении класса тяжелого бетона с В15 до В80 уменьшение требуемой A_s составило от 0,51 % до 3,18 % в зависимости от типоразмера плиты и величины нагрузки, а с ВПБ60 до ВПБ80 – от 0,04 % до 0,23 %. В предварительно напряженных плитах при увеличении класса тяжелого бетона с В20 до В80 уменьшение требуемой A_{sp} составило от 1,48 % до 5,16 %, а с ВПБ60 до ВПБ80 – от 0,16 % до 0,55 % (рис. 1);

- применение высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 по сравнению с тяжелым бетоном классов В15 и В20 уменьшает требуемую площадь сечения арматуры A_s на 0,56...3,39 %, арматуры A_{sp} - на 1,63...5,64 % (рис. 1);

- изготовление плит из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 по сравнению с их изготовлением из высокопрочного тяжелого бетона классов В60 и В80 ведет к снижению требуемой площади сечения арматуры A_s на 0,06...0,41 %, арматуры A_{sp} на 0,28...0,97 % (рис. 1);

- повышение класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона практически никак не сказывается на принятом общем расходе стали, который, как правило, остается постоянным для конкретного типоразмера плиты для одной нагрузки. Он снизился в плитах с ненапрягаемой арматурой лишь в 2 случаях из 56 (т. е. в 3,5 % случаев) - на 9,8 % и 10,4 % - и в преднапряженных плитах в 7 случаях из 56 (12,5 %) - на 9,1...15,9 % (рис. 2);

- применение высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 по сравнению с высокопрочным тяжелым бетоном классов В60 и В80 в 31 случае из 32 дает одинаковый принятый общий расход стали. Лишь в 1 случае (3,1 %) - в плите ПК63.10.8 при классе бетона ВПБ60 - произошло снижение на 3,0 кг (9,1 %) по сравнению с применением бетона класса В60 (рис. 2);

- по общей стоимости материалов (арматуры и бетона) во всех случаях наиболее экономичным оказалось применение тяжелого бетона минимального класса (В15 в плитах с ненапрягаемой арматурой и В20 в предварительно напряженных) (рис. 3 и рис. 4). Экономия по сравнению с применением тяжелого бетона класса В80 составила в плитах с ненапрягаемой арматурой от 26,9 % до 35,0 %, в предварительно напряженных – от 14,4%

до 27,0 %. По сравнению с применением высокопрочного песчаного бетона класса ВПБ80 - от 28,6 % до 37,0 % в плитах с ненапрягаемой арматурой и от 15,8 % до 28,7 % в предварительно напряженных;

- общая стоимость материалов при изготовлении как плит с ненапрягаемой арматурой, так и предварительно напряженных плит из высокопрочного тяжелого бетона классов В60 и В80 практически всегда ниже, чем при изготовлении их из высокопрочного песчаного бетона ВПБ60 и ВПБ80, соответственно (на 0,6...0,7 % при сравнении В60 и ВПБ60 и на 1,2...1,4 % при сравнении В80 и ВПБ80). Только в 1 случае из 16 (6,3 %) - для плиты ПК63.10.8 при применении тяжелого бетона класса В60 - она оказалась выше на 1,6 % по сравнению с применением высокопрочного песчаного бетона класса ВПБ60, что связано с большим на 3,0 кг (9,1 %) общим расходом стали (рис. 2).

Кроме того, в результате расчетов было выявлено, что:

- в 98 случаях из 112 (87,5 %) поперечная арматура по расчету не требовалась и поэтому не устанавливалась;
- в 98 случаях из 112 (87,5 %) нормальные трещины не образовывались;
- во всех случаях продольная рабочая арматура, принятая из расчета по I группе предельных состояний, оказывалась достаточной для выполнения требований II группы.

4. Обсуждение

Анализ полученных результатов показывает, что повышение класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона ведет к снижению требуемого количества продольной растянутой ненапрягаемой арматуры A_s и предварительно напряженной арматуры A_{sp} , а также, в большинстве случаев, к отказу от установки поперечной арматуры.

В то же время это практически никак не сказывается на принятом общем расходе стали, который, как правило, остается постоянным для конкретного типоразмера плиты для одной нагрузки.

Во всех случаях наиболее экономичным по общей стоимости материалов оказалось применение тяжелого бетона минимального класса (В15 в плитах с ненапрягаемой арматурой и В20 в плитах с предварительно напряженной арматурой). Изготовление плит из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 оказалось самым затратным по стоимости материалов. По сравнению с плитами из тяжелого бетона класса В15 с ненапрягаемой арматурой они оказались дороже на 28,6 %...37,0 %, по сравнению с плитами из тяжелого бетона класса В20 с предварительно напряженной арматурой – на 15,8 %...28,7 %.

Полученные результаты явились следствием: 1.невозможности увеличения или уменьшения высоты сечения плит, что значительно ограничивало увеличение плеча внутренней пары сил при повышении прочности бетона сжатой зоны, а также не приводило к снижению расхода бетона; 2.необходимости выполнения при армировании растянутой продольной и поперечной арматурой конструктивных требований; 3.получения во всех случаях величины относительной высоты сжатой зоны, не превышающей ее граничного значения $\xi \leq \xi_R$, в результате чего сжатая арматура устанавливалась по конструктивным требованиям.

Во всех ранее проведенных аналогичных исследованиях [17], [18], [19], указанных в разделе «Введение», применение высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 приводило к снижению общего расхода стали, а в работах [17] и [18] также и общей стоимости материалов. Это явилось следствием:

1. возможности снижения сечения элементов ([17], [18]);
2. как правило, превышением полученной по расчету площади рабочей арматуры конструктивных значений;
3. другим, по сравнению с настоящим временем, соотношением стоимости арматуры и бетона на момент проведения исследований.

Полученные в настоящих исследованиях результаты являются значимыми, т. к. они позволили выявить экономичные решения по расходу материалов в зависимости от применяемого вида и класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона для многопустотных плит перекрытий длиной до 6,3 м с ненапрягаемой арматурой (при классе

арматуры А500С) и с предварительно напряженной арматурой (при классе арматуры А800).

В дальнейшем предполагается выполнить аналогичные исследования для многопустотных плит с другой высотой сечения, формой, размерами пустот и способом изготовления ($h=260$ мм с круглыми пустотами диаметром 180 мм и грушевидными пустотами, $h=300$ мм с круглыми пустотами диаметром 203 мм и др., предварительно напряженных плит стенового безопалубочного формования) и классами напрягаемой арматуры. Кроме того, планируется провести аналогичные исследования для других видов несущих железобетонных конструкций.

5. Заключение

1. Повышение класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона ведет к снижению требуемого количества продольной растянутой ненапрягаемой и предварительно напряженной арматуры, а также, в большинстве случаев, к отказу от установки поперечной арматуры. В то же время это практически никак не сказывается на принятом общем расходе стали, который, как правило, остается постоянным для конкретного типоразмера плиты для одной нагрузки.

2. Во всех случаях наиболее экономичным по общей стоимости материалов оказалось применение тяжелого бетона минимального класса (В15 в плитах с ненапрягаемой арматурой и В20 в плитах с предварительно напряженной арматурой). Изготовление плит из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 оказалось неэкономичным.

3. Основные полученные результаты объясняются следующим: 1) невозможностью увеличения или уменьшения высоты сечения плит, что значительно ограничивало увеличение плеча внутренней пары сил при повышении прочности бетона сжатой зоны, а также не приводило к снижению расхода бетона; 2) необходимостью выполнения при армировании растянутой продольной и поперечной арматурой конструктивных требований; 3) получением во всех случаях значения относительной высоты сжатой зоны, не превышающей ее граничного значения, в результате чего сжатая арматура устанавливалась по конструктивным требованиям.

4. Выполненные исследования позволили выявить экономичные решения многопустотных плит перекрытий длиной до 6,3 м с ненапрягаемой арматурой класса А500С и с предварительно напряженной арматурой класса А800 с учетом применяемого вида и класса бетона.

5. В дальнейшем предполагается выполнить аналогичные исследования для многопустотных плит с другими типоразмерами, формой и размером пустот, способом изготовления и классами напрягаемой арматуры. Планируется также провести исследования для других видов несущих железобетонных конструкций.

Список библиографических ссылок

1. Mindess S. Developments in the formulation and reinforcement of concrete. 2019. 423 p. DOI:10.1016/C2017-0-03347-5.
2. Илюхина Е.А., Лахман С.И., Миллер А.Б., Травуш В.И. Конструктивные решения высотного здания «Лахта Центр» в Санкт-Петербурге // Строительные науки. 2019. № 3. С. 110-121.
3. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Безгоднов И.М., Моисеенко Г.А., Степанов М.В. Исследование структурных деформаций мелкозернистого высокопрочного бетона и фибробетона с рациональным содержанием фибры // Известия высших учебных заведений. Серия «Технология текстильной промышленности». 2018. № 3. С. 227-230.
4. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Мугинов Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 72-73.
5. Boucedra A., Bederina M., Ghernouti Y. Study of the acoustical and thermo-mechanical properties of dune and river sand concretes containing recycled plastic aggregates //

- Construction and Building Materials. 2020. V. 256. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119447.
6. Ouassila B., Houria H., Leila K., Mouloud B., Assia A., Chaher R.. Valorization of marble's waste as a substitute in sand concrete // *Advances in Concrete Construction*. 2020. № 9 (2). P. 217-225. DOI:10.12989/acc.2020.9.2.217.
 7. Nguyen T. S., Chu L. H. Effect of ground blast furnace slag in replacement of cement in ternary binder on performance of sand concrete // *Lecture Notes in Civil Engineering* 2020. V. 54 P. 403-408. DOI:10.1007/978-981-15-0802-8_62.
 8. Yan, W., Wu, G., & Dong, Z. Optimization of the mix proportion for desert sand concrete based on a statistical model // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 226. P. 469-482. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.07.287/
 9. Thangapandi K., Anuradha R., Awoyera P. O., Gobinath R., Archana N., Berlin M., Oladimeji O. B. Durability phenomenon in manufactured sand concrete: Effects of zinc oxide and alcofine on behavior // *Silicon*. 2021. V. 13(4). P. 1079-1085. DOI:10.1007/s12633-020-00494-2.
 10. Tolstoy A. D., Fomina E. V., Milkina A. S. Durability of fine-grained high-strength concrete in corrosive environment. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 753 (3). DOI:10.1088/1757-899X/753/3/032036.
 11. Peng Z., Li D., Zhou Y., Ren, S.. Failure criterion in stress space for coral reef sand concrete under biaxial compression. *Wuhan Ligong Daxue Xuebao/Journal of Wuhan University of Technology*. 2018. V. 40 (5). P. 66-70. DOI:10.3963/j.issn.1671-4431.2018.05.011.
 12. Li Z., Wang G., Yang S., Ju G. Experimental study on mechanical properties and stress-strain constitutive relations of desert sand concrete. *Yingyong Lixue Xuebao // Chinese Journal of Applied Mechanics*. 2019. V. 36 (5). P. 1131-1137. DOI:10.11776/cjam.36.05.B063.
 13. Li B., Yin L., Fan L. Analysis on flexural fatigue performance of manufactured sand concrete. *Jianzhu Cailiao Xuebao // Journal of Building Materials*. 2017. V. 20 (5). P. 801-807. DOI:10.3969/j.issn.1007-9629.2017.05.024.
 14. Dong Z., Wu G., Xu Y. Bond and flexural behavior of sea sand concrete members reinforced with hybrid steel-composite bars presubjected to wet-dry cycles // *Journal of Composites for Construction*. 2017. V. 21 (2). DOI:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000749.
 15. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 890 012082 DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012082.
 16. Mukhametrakhimov R.K., Lukmanova L.V. Structure and properties of mortar printed on a 3D printer // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. V. 102 (2). Article number 10206. DOI: 10.18720/MCE.10206.
 17. Palagin N., Dul'miyeva A. Cost-effective design of long cylindrical shells of high-strength sand concrete, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 890 012078. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012078.
 18. Палагин Н.Г., Никитин Г.П., Садрутдинова А.Р. Возведение пологих оболочек положительной гауссовой кривизны из высокопрочного песчаного бетона и его экономическая эффективность: сб. ст. V Международной (XI Всероссийской) конференции – Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020 / Чебоксарский государственный университет. Чебоксары, 2020. С. 142–149.
 19. Palagin N., Nikitin G., Trunov A. Erection of solid columns of one-storey industrial buildings with bridge cranes made of high-strength sandy concrete and its economic efficiency, *E3S Web of Conferences*. 2021. V. 274. 03028. DOI: org/10.1051/e3sconf/2021/274/03028.

Palagin Nikolay Grigorievich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: pal_nik11@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Akhmetov Marat Marselevich

Engineer

Email: marat9701@yandex.ru

ООО «Artemida»

The organization address: 426010, Russia, Izhevsk, Autonomous st., 87

Gridchin Anatoly Mitrofanovich

doctor of Technical Sciences

Email: prezident@intbel.ru

Cherevatova Alla Vasilevna

doctor of Technical Sciences

Email: cherry_611@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov

The organization address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova st., 46

Economic feasibility of manufacturing hollow-core floor slabs from high-strength sand concrete**Abstract**

Problem statement. Studies were carried out to identify the economic feasibility of manufacturing hollow-core floor slabs with a height of 220 mm, having round voids with a diameter of 159 mm, non-tensioned reinforcement (series 1.141-1, issue 60) and prestressed reinforcement class A800 (series 1.141-1, issue 63), from high-strength sand concrete of classes VPB60 and VPB80 in comparison with slabs of heavy-weight concrete of classes B15 ... B80 in relation to the city of Kazan.

The research is due to the absence of large aggregate deposits in a large part of the European territory of the Russian Federation or the presence of deposits of sedimentary rocks that are of limited use in reinforced concrete, with the widespread presence of sand, as well as the well-known economic efficiency of using high-strength concrete in the manufacture of load-bearing structures.

The objectives of the research consisted in comparing the technical and economic indicators of slabs made of high-strength sand concrete of classes VPB60 and VPB80 with indicators of slabs made of heavy-weight concrete of classes B15 ... B80.

The studies were carried out by the engineering method of calculation according to the current standards using the MS Excel PC. The strength and deformation characteristics of high-strength sand concrete were taken based on the results of studies of the Department of technology of building materials, products and structures (Kazan State University of Architecture and Engineering), obtained for concrete on the sands of local deposits.

Results. Raising the class of the heavy-weight and high-strength sand concrete does not affect the overall steel consumption. In terms of the cost of materials, in all cases, the most economical is the use of heavy-weight concrete of the minimum class (B15 in slabs with non-tensioned reinforcement and B20 in slabs with prestressed reinforcement).

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry consists in identifying cost-effective solutions for the consumption of materials, depending on the class of heavy-weight and high-strength sand concrete for hollow-core floor slabs up to 6.3 m in length with non-tensioned reinforcement of class A500C and with prestressed reinforcement of class A800.

Key words: high-strength sand concrete, heavy-weight concrete, hollow-core floor slabs with non-stressed and prestressed reinforcement, design load, standard size, economic efficiency.

For citation: Palagin N. G., Akhmetov M. M., Gridchin A. M., Cherevatova A. V. Economic feasibility of manufacturing hollow-core floor slabs from high-strength sand concrete // *Izvestiya KGASU*. 2021. №4 (58). P. 26-38. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_26.

References

1. Mindess S. Developments in the formulation and reinforcement of concrete. 2019. 423 p. DOI:10.1016/C2017-0-03347-5.
2. Iyukhina E.A., Lakhman S.I., Miller A.B., Travush V.I. Constructive solutions of the high-rise building "Lakhta Center" in St. Petersburg // *Construction sciences*. 2019. № 3. P. 110-121.
3. Karpenko N.I., Kaprielov S.S., Bezgodov I.M., Moiseenko G.A., Stepanov M.V. Investigation of structural deformations of fine-grained high-strength concrete and fiber-reinforced concrete with a rational fiber content // *Izvestiya Vyss.Uchebnykh Zaved. Seriya Technology Textile Industry*. 2018. № 3. P. 227-230.
4. Morozov N.M., Khozin V.G., Muginov Kh.G. Features of the formation of the structure of modified sand concretes // *Building Materials Journal*. 2010. № 9. P. 72-73.
5. Boucedra A., Bederina M., Ghernouti Y. Study of the acoustical and thermo-mechanical properties of dune and river sand concretes containing recycled plastic aggregates // *Construction and Building Materials*. 2020. V. 256. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119447.
6. Ouassila B., Houria H., Leila K., Mouloud B., Assia A., Chaheer R.. Valorization of marble's waste as a substitute in sand concrete // *Advances in Concrete Construction*. 2020. № 9 (2). P. 217-225. DOI:10.12989/acc.2020.9.2.217.
7. Nguyen T. S., Chu L. H. Effect of ground blast furnace slag in replacement of cement in ternary binder on performance of sand concrete // *Lecture Notes in Civil Engineering* 2020. V. 54 P. 403-408. DOI:10.1007/978-981-15-0802-8_62.
8. Yan, W., Wu, G., & Dong, Z. Optimization of the mix proportion for desert sand concrete based on a statistical model // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 226. P. 469-482. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.07.287/
9. Thangapandi K., Anuradha R., Awoyera P. O., Gobinath R., Archana N., Berlin M., Oladimeji O. B. Durability phenomenon in manufactured sand concrete: Effects of zinc oxide and alcofine on behavior // *Silicon*. 2021. V. 13(4). P. 1079-1085. DOI:10.1007/s12633-020-00494-2.
10. Tolstoy A. D., Fomina E. V., Milkina A. S. Durability of fine-grained high-strength concrete in corrosive environment. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 753 (3). DOI:10.1088/1757-899X/753/3/032036.
11. Peng Z., Li D., Zhou Y., Ren, S.. Failure criterion in stress space for coral reef sand concrete under biaxial compression. *Wuhan Ligong Daxue Xuebao/Journal of Wuhan University of Technology*. 2018. V. 40 (5). P. 66-70. DOI:10.3963/j.issn.1671-4431.2018.05.011.
12. Li Z., Wang G., Yang S., Ju G. Experimental study on mechanical properties and stress-strain constitutive relations of desert sand concrete. *Yingyong Lixue Xuebao // Chinese Journal of Applied Mechanics*. 2019. V. 36 (5). P. 1131-1137. DOI:10.11776/cjam.36.05.B063.
13. Li B., Yin L., Fan L. Analysis on flexural fatigue performance of manufactured sand concrete. *Jianzhu Cailiao Xuebao // Journal of Building Materials*. 2017. V. 20 (5). P. 801-807. DOI:10.3969/j.issn.1007-9629.2017.05.024.
14. Dong Z., Wu G., Xu Y. Bond and flexural behavior of sea sand concrete members reinforced with hybrid steel-composite bars presubjected to wet-dry cycles // *Journal of Composites for Construction*. 2017. V. 21 (2). DOI:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000749.
15. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 890 012082 DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012082.

16. Mukhametrakhimov R.K., Lukmanova L.V. Structure and properties of mortar printed on a 3D printer // Magazine of Civil Engineering. 2021. V. 102 (2). Article number 10206. DOI: 10.18720/MCE.10206.
17. Palagin N., Dul'miyeva A. Cost-effective design of long cylindrical shells of high-strength sand concrete, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 890 012078. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012078.
18. Palagin N.G., Nikitin G.P., Sadrutdinova A.R. Erection of shallow shells of positive Gaussian curvature from high-strength sandy concrete and its economic efficiency: Collection of articles. Art. V International (XI All-Russian) conference - Construction and development: life cycle - 2020 / Cheboksary State University. Cheboksary, 2020, P. 142–149.
19. Palagin N., Nikitin G., Trunov A. Erection of solid columns of one-storey industrial buildings with bridge cranes made of high-strength sandy concrete and its economic efficiency, E3S Web of Conferences. 2021. V. 274. 03028. DOI: org/10.1051/e3sconf/2021/274/03028.



УДК 691: 666.972.16

Гришина Анна Николаевна

к.т.н., старший научный сотрудник, доцент

Email: GrishinaAN@mgsu.ru,

**Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет**

Адрес организации: 129370, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Королев Евгений Валерьевич

д.т.н., проректор, профессор

Email: prorektor_nr@spbgasu.ru,

**Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет**

Адрес организации: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская,
д. 4

Химический состав гидросиликатов бария для модифицирования портландцемента

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является установление влияния различных солей бария, а также их содержания на химический состав продуктов, образующихся при их взаимодействии с гидросиликатами натрия. Задачами исследования являются: установить влияние растворимости солей бария на химический состав продуктов гидрохимического синтеза; установить вид и содержание соли-осадителя, обеспечивающие максимальный выход продукта, предназначенного для модифицирования цементных систем – гидросиликатов бария, а также стабильный химический состав продуктов осаждения.

Результаты. Установлено, что на ИК-спектрах продукт осаждения гидросиликатов натрия хлоридом бария имеет отклики колебаний силикатных структур с более близкой интенсивностью, чем при использовании осадителя нитрата бария. Дополнительный дифференциальный термический анализ продемонстрировал высокое содержание карбоната бария в продукте осаждения при использовании нитрата бария. Показано, что применение хлорида бария позволяет получать продукт стабильный при использовании осадителя в количестве 80-90% от стехиометрического, который отличается однородным содержанием силикатной фазы и низким содержанием карбонатов. При использовании в качестве осадителя нитрата бария происходит существенная карбонизация продукта осаждения, так стабильный состав модификатора наблюдается только при использовании осадителя в количестве 70% от стехиометрического.

Выводы. Для синтеза модификатора, основным компонентом которого являются гидросиликаты бария и предназначенного для регулирования структурообразования строительных материалов на минеральных вяжущих, целесообразно использовать насыщенный раствор хлорида бария. При этом для предотвращения карбонизации получаемого продукта при совмещении гидросиликатов натрия с раствором хлорида бария необходимо избегать воздухововлечения.

Ключевые слова: гидросиликаты бария, гидрохимический синтез, химический состав, композиционные цементы.

Для цитирования: Гришина А. Н., Королев Е. В. Химический состав гидросиликатов бария для модифицирования портландцемента // Известия КГАСУ. 2021. №4 (58). С. 39-48. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_39.

1. Введение

Портландцемент является наиболее востребованным минеральным вяжущим строительной отрасли. Однако его производство сопровождается выбросами CO₂, объем которых составляет около 7 % от его мировых выбросов [1]. Снижение этого показателя, как правило, достигается за счет разработки композиционных вяжущих, содержащих

меньшую долю цементного клинкера в своем составе. Однако фактически доля произведенного бездобавочного портландцемента в 2020 г. составила 61,6 % (34 511 тыс. т) [2]. Отсюда очевидно, что разработка композиционных вяжущих веществ является актуальной задачей для цементной промышленности. Используемые минеральные компоненты, в том числе и модифицирующие добавки, оказывают существенное влияние на структурообразование цементного камня и поэтому должны соответствовать ряду требований, а именно: иметь стабильный химический и гранулометрический состав, повышать или сохранять марку портландцемента при уменьшении расхода цементного клинкера. В этом случае очевидные преимущества имеют искусственные компоненты, синтез которых проводится в контролируемых условиях. Согласно [3-6], положительное влияние на свойства композиционного вяжущего (прочность при изгибе и при сжатии), а также материалов, получаемых с его применением (марка по морозостойкости, адгезионная прочность, коэффициент химической стойкости), оказывают минеральные компоненты силикатной химической природы, например, гидросиликаты металлов, полученные гидрохимическим синтезом. В работах [3, 7] показана эффективность применения гидросиликатов бария, синтезированных с использованием растворов гидросиликатов натрия (жидкого стекла) и водных растворов солей – хлорида или нитрата бария [8]. Поэтому представляет интерес установление влияния осадителей на химический состав получаемых продуктов осаждения. Учитывая, что жидкое стекло представляет собой раствор, стабилизированный катионами щелочного металла, то при изменении pH может происходить как образование кремниевой кислоты [9], так и солей-гидросиликатов [10- 12]. Особенности использования растворов хлорида или нитрата бария является их существенно различная растворимость в воде, а именно: растворимость двуводного хлорида бария $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 42,8 г/100 мл при 20 °С, а нитрата бария $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ – 9 г/100 мл при 20 °С [13]. Поэтому при введении равного количества вещества бария ($\nu(\text{BaO}): \nu(\text{SiO}_2)$) объем раствора существенно изменяется. Указанное приведет к существенному изменению pH и, как следствие, к образованию геля кремниевой кислоты из раствора гидросиликатов натрия, при этом синтез гидросиликатов бария будет осуществиться сложнее. Поэтому целью исследования является выявление особенностей химического состава продуктов осаждения гидросиликатов натрия водными растворами солей бария. Задачей исследования является установление влияния вида соли и ее содержания на силикатную и карбонатную составляющую в получаемых продуктах гидрохимического синтеза.

2. Материалы и методы

Для установления влияния вида аниона соли бария на химический состав получаемых продуктов проведены исследования продуктов гидрохимического синтеза, проводимого с использованием солей бария в количестве 70...100 % от стехиометрического. Для синтеза гидросиликатов бария использовались гидросиликаты натрия (натриевое жидкое стекло, изготовленное согласно ГОСТ 13078-81), с силикатным модулем $M_{\text{Si}} = 3,0$ и концентрацией силикат-глыбы 26 %. Для осаждения использовались насыщенные водные растворы солей – хлорида бария (ГОСТ 4108-72) и нитрата бария (ГОСТ 3777-76). Продукты осаждения отмывались от водорастворимых солей с использованием дистиллированной воды и высушивались естественным путем. Изучение продуктов синтеза проведено методами ИК-Фурье спектроскопии с использованием прибора Agilent Cary 630 и дифференциально-термического анализа с применением калориметра Linseis DSC PT-1600.

3. Результаты

Результаты исследований химического состава гидросиликатов бария, полученных методом ИК-Фурье спектроскопии, представлены на рис. 1 и 2. Для анализа спектрограмм целесообразно оценивать интенсивность откликов при постоянном волновом числе. Значения интенсивностей приведены в табл. 1.

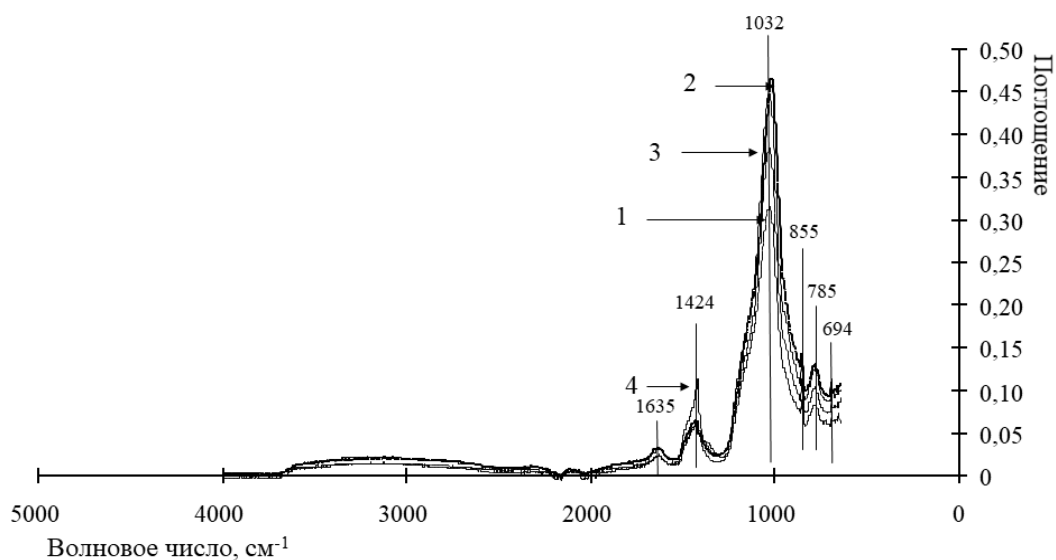


Рис. 1 – ИК-спектры гидросиликатов бария, синтезированных с использованием раствора нитрата бария:
1 – количество хлорида бария 100 % от стехиометрического; 2 – то же, 90 %;
3 – то же, 80 %; 4 – то же, 70 %
(иллюстрация авторов)

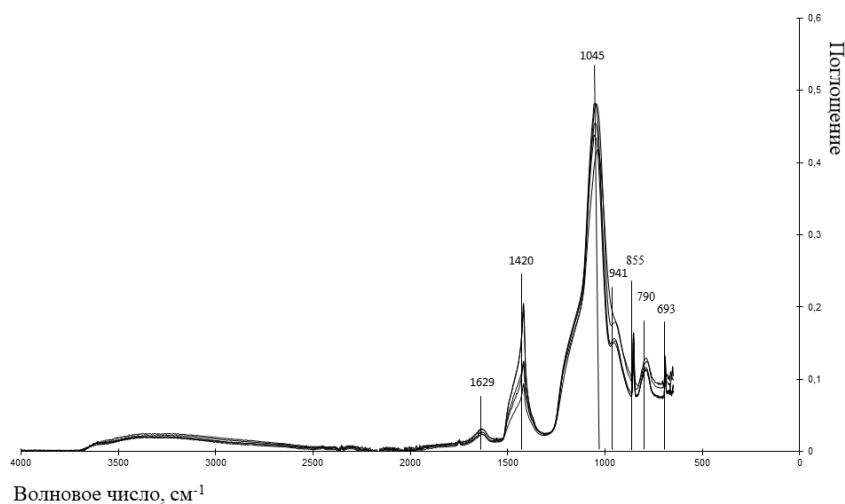


Рис. 2 – ИК-спектры гидросиликатов бария, синтезированных с использованием раствора хлорида бария
(иллюстрация авторов)

Таблица 1

Интенсивность откликов силикатов, синтезированных при использовании хлорида или нитрата бария

Содержание осадителя	Волновое число, см ⁻¹					
	1629-1637	1420-1421	1021-1045	855-858	783-790	692-694
Гидросиликаты бария, синтезированных с использованием раствора нитрата бария						
100%	0,011	0,046	0,262	0,021	0,023	0,015
90%	0,015	0,041	0,373	0,023	0,029	0,015

Продолжение табл. 1

80%	0,013	0,048	0,322	0,016	0,028	0,017
70%	0,014	0,090	0,371	0,041	0,035	0,025
Гидросиликаты бария, синтезированных с использованием раствора хлорида бария						
100%	0,015	0,009	0,344	0,0580	0,033	0,027
90%	0,011	0,175	0,374	0,088	0,036	0,048
80%	0,012	0,186	0,421	0,088	0,039	0,051
70%	0,013	0,105	0,395	0,051	0,037	0,028
60%	0,014	0,0740	0,415	0,024	0,041	0,020

Данные табл. 1 указывают на близкие значения волновых чисел, при которых наблюдаются отклики, то есть образуются соединения одинаковой химической природы, однако изменения величин интенсивностей аномалий свидетельствуют о различных соотношения продуктов синтеза в модификаторе при варьировании как вида соли-осадителя, так и количества. Кроме того, использование нитрата бария, в отличие от хлорида бария, не позволяет получать высокое стабильное содержание гидросиликатов (полоса при 1420-1421 см^{-1}).

Учитывая, что метод ИК-Фурье спектроскопии имеет ограничения, в данном случае колебания связей $\text{Me}-\text{O}$ расположены вне диапазона исследований, дополнительно химический состав гидросиликатов бария исследован методом дифференциального термического анализа. Результаты исследований приведены на рис. 3 и 4 и в табл. 2. Для анализа термограмм использовалась величина энтальпии аномалий, позволяющая оценить качественный и количественный состав продуктов синтеза.

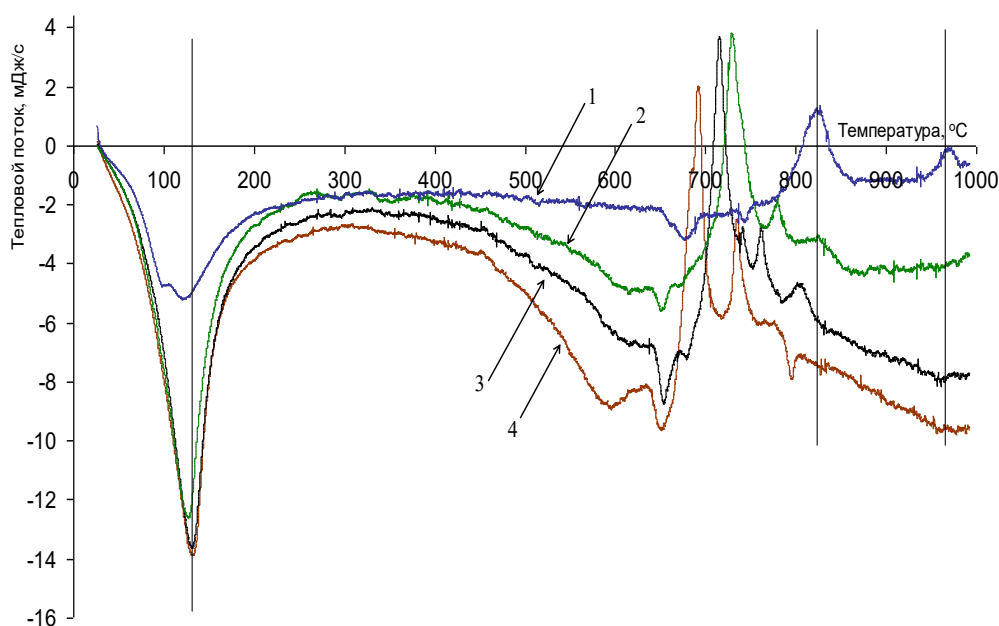


Рис. 3 – Термограммы гидросиликатов бария, синтезированных с использованием BaCl_2 :

1 – количество хлорида бария 100 % от стехиометрического;

2 – то же, 90 %; 3 – то же, 80 %; 4 – то же, 70 %

(иллюстрация авторов)

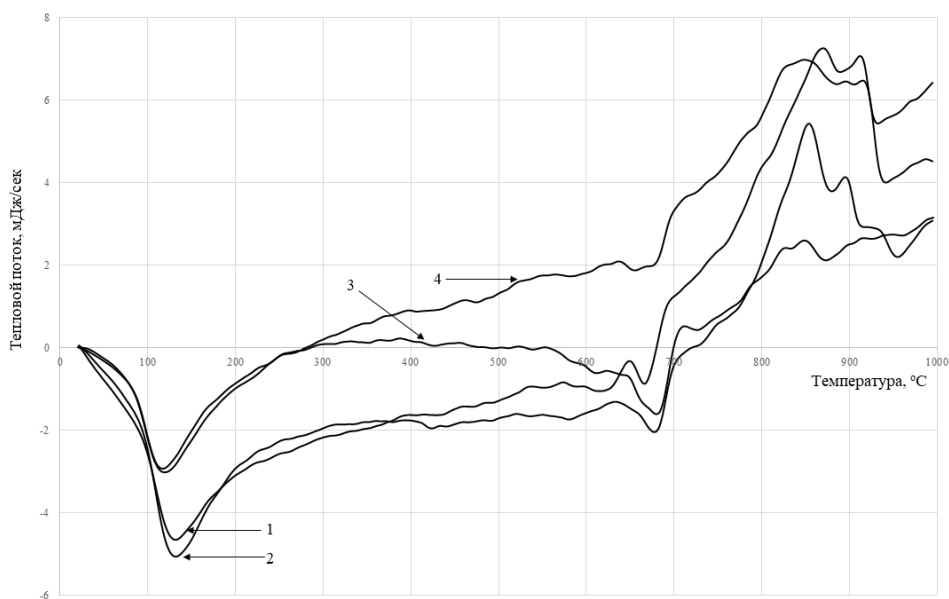


Рис. 4 – Термограммы гидросиликатов бария, синтезированных с использованием $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$:
 1 – количество хлорида бария 100 % от стехиометрического;
 2 – то же, 90 %; 3 – то же, 80 %; 4 – то же, 70 %
 (иллюстрация авторов)

Таблица 2

Энтальпия аномалий на термограммах, Дж/г

Содержание осадителя	Температура минимума/максимума, °C							
	125-131	596	650-670	735	675-817	725-774	790-800	962
Осадитель – хлорид бария								
70%	-95,72	-8,83	-4,65	–	22,89	6,90	-1,84	–
80%	-99,97	–	-4,07	–	24,34	2,17	2,86	–
90%	-127,28	–	-1,95	–	37,57	2,78	–	–
100%	-106,27	–	-8,83	-1,48	41,29	–	–	4,92
Осадитель – нитрат бария								
70%	-118,38	–	–	–	–	–	–	–
80%	-89,32	–	–	–	-16,66	-0,70	–	–
90%	-119,10	–	–	–	-11,38	–	–	–
100%	-219,05	–	–	–	-9,17	–	–	–

Анализ табл. 2 подтверждает, что использование осадителя хлорида бария позволяет получать более стабильный в химическом отношении продукт. Кроме того, при использовании нитрата бария происходит интенсивная карбонизация продукта осаждения.

4. Обсуждение

ИК-спектрограммы, представленные на рис 1 и 2, показывают, что значения волновых чисел, при которых наблюдаются аномалии, близки между собой, однако имеют различную интенсивность (табл. 1). Следует первоначально отделить отклики, характеризующие содержание воды в продукте осаждения; на ее наличие указывает широкая полоса при $3450 \dots 3350 \text{ см}^{-1}$, соответствующая валентным колебаниям и полоса около $1629 \dots 1637 \text{ см}^{-1}$, характерная для деформационных колебаний адсорбированных молекул воды. Учитывая, что материал перед исследованиями был высушен до естественной влажности без использования сушильных аппаратов, то широкий отклик при волновых числах $1629 \dots 1637 \text{ см}^{-1}$ принадлежит колебаниям воды, находящимся как в состоянии капиллярной конденсации, так и димерно или мономолекулярно адсорбированных [14]. Наличие воды в составе синтезированных продуктов также

подтверждается откликом при $\sim 950 \text{ см}^{-1}$, соответствующим либрационному колебанию р молекул воды [14]. Указанный отклик четко выражен для продуктов, синтезированных при использовании хлорида бария и слабо выражен для продуктов, полученных с использованием нитрата бария. Отклик при волновых числах $1629 \dots 1637 \text{ см}^{-1}$ характерен для деформационных колебаний адсорбированных молекул воды. Некоторые отличия в интенсивности откликов (табл. 1) могут указывать, в том числе, и на различное содержание силикатов в полученных продуктах осаждения. Поэтому следует провести анализ характеристик откликов силикатов.

Согласно данным табл. 1 при использовании нитрата бария в качестве осадителя интенсивность отклика при $1021\text{--}1045 \text{ см}^{-1}$ имеет существенные отличия, при этом применение осадителя хлорида бария оказывает меньшее влияние на величину отклика (не более 20 %), в то время как при осаждении гидросиликатов натрия BaNO_3 интенсивность отклика существенно изменяется (до 42 %). Также важно отметить, что при использовании указанного осадителя в количестве 100 % от стехиометрического наблюдается снижение интенсивности рассматриваемого отклика. Данная аномалия ($1000 \dots 1040 \text{ см}^{-1}$) характеризует валентные колебания открытых и циклических цепей тетраэдров кремнекислородных каркасов Si-O-Si , а также с асимметричными и симметричными колебаниями концевых связей Si-O [10, 14]. Для материала, полученного с использованием нитрата бария, наблюдается увеличение интенсивности откликов при 777 и 692 см^{-1} , которые характеризуют симметричные колебания мостиковых связей Si-O-Si в $[\text{SiO}_4]$ -тетраэдрах [10] при содержании осадителя 70 % от стехиометрического. При этом использование хлорида бария позволяет получать стабильный продукт при использовании осадителя в количестве 80-90 % от стехиометрического.

Таким образом, вид осадителя оказывает существенное влияние на состав получаемого продукта гидрохимического синтеза. Использование хлорида бария приводит к получению продукта с более постоянным составом в более широком диапазоне содержания осадителя, а при использовании нитрата бария наблюдается существенное изменение содержания силикатной фазы, что может быть обусловлено формированием кремниевой кислоты, которая затрудняет промывание осадка или частично вымывается. Учитывая возможные наложения откликов на ИК-Фурье спектрограммах, были дополнительно проведены исследования методом дифференциально-термического анализа (рис. 3 и 4).

Анализ полученных данных (рис. 3 и 4, табл. 2) показывает, что термограммы при температурах выше 700°C имеют существенные отличия, которые характеризуют наличие карбоната бария, а именно: переходы из α -модификации, устойчивой до 810°C , в β -модификацию, которая устойчива в интервале $810 \dots 960^\circ\text{C}$ и далее в γ -модификацию при температуре выше 960°C [15]. Указанные превращения являются экзотермическими и наблюдаются при использовании нитрата бария для синтеза гидросиликатов бария, а также небольшой отклик наблюдается при использовании для синтеза хлорида бария при его содержании 100 % от стехиометрического количества. Для термограмм рис. 4 эндотермические эффекты при 670 и 735°C вызваны стеклованием аморфных форм дегидратированных силикатов бария [16], которые четко прослеживаются на рис. 3. Отклики при $550 \dots 650^\circ\text{C}$ имеют существенно различную интенсивность: на рис. 3 они четко выражены, а на рис. 4 – незначительны, особенно для состава № 4. Экзотермические эффекты, наблюдающиеся при $690 \dots 725^\circ\text{C}$, могут свидетельствовать о взаимодействии карбоната бария и кремниевой кислоты ($\sim 700^\circ\text{C}$) с образованием $\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$ [17]. В этом случае, карбонат бария химически взаимодействует и поэтому не преобразуется при температуре выше 810°C . А при использовании нитрата бария указанного химического взаимодействия не протекает и карбонат бария претерпевает естественные превращения при нагревании. Так же следует отметить нестабильность химического состава, что, вероятно, обуславливается формированием большего количества кремниевой кислоты в начальный период, которая менее активно вступает во взаимодействие с ионами бария. В связи с этим при перемешивании смеси и промывании продуктов синтеза происходит образование карбоната бария. Также формирование кремниевой кислоты из-за изменения pH и введения электролита в начальный период затрудняет технологические процессы удаления водорастворимых продуктов.

5. Заключение

Таким образом, проведенные исследования показывают, что использование растворов хлорида бария позволяет получать стабильный продукт, концентрация осадителя при этом должна составлять 80-90% от стехиометрического соотношения, увеличение содержания осадителя приводит к его карбонизации. При синтезе гидросиликатов бария необходимо использовать концентрированные растворы и вводить одновременно весь объем раствора хлорида бария, а также перемешивать смесь без воздухововлечения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования (проект «Теоретико-экспериментальное конструирование новых композитных материалов для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений в условиях техногенных и биогенных угроз», номер проекта # FSWG-2020-0007).

Список библиографических ссылок

1. Производители цемента сокращают выбросы CO₂ и «озеленяют» бетон // Платформа "Устойчивое развитие". URL: <https://sdpl.ru/1051-proizvoditeli-cementa-sokraschayut-vybrosy-so2-i-ozelenyayut-beton.html> (дата обращения 05.08.2021).
2. ГС-Эксперт: Рынок цемента итоги 2020 года // Отраслевой портал cement.ru. URL: <https://cement.ru/nashi-novosti-i-statii/item/9731-gs-ekspert-rynok-tsementa-itogi-2020-goda.html> (дата обращения 07.08.2021).
3. Korolev E.V., Grishina A.N. Influence of nanoscale barium hydrosilicates on composition of cement stone // Key Engineering Materials. 2016. V. 683. Pp. 90-94. DOI: 10.4028 / www.scientific.net / KEM.683.90.
4. Loganina V., Zhegera K., Fediuk R., Timokhin R., Liseitsev Y., Zayakhanov M. Amorphous aluminosilicates as a structure-forming additive in cementitious systems // Journal of materials in civil engineering. 2020. V. 32. № 5. 06020004. DOI: 10.1061 / (ASCE) MT.1943-5533.0002995.
5. Zhegera K.V., Pyshkina I.S., Martyashin G.V. Evaluations of efficiency of the use of amorphous aluminosilicates in dry mixes // Materials Science Forum. 2018. V. 945 MSF. Pp. 109-114. DOI: 10.4028 / www.scientific.net / MSF.945.109.
6. Макридин Н.И., Вернигорова В.Н., Максимова И.Н. О микроструктуре и синтезе прочности цементного камня с добавками ГСК // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 8. – С. 37-42.
7. Grishina A.N., Eremin A.V. Effect of barium hydrosilicates on the early hydration rate of portland cement // Inorganic Materials. 2016. V. 52. № 9. Pp. 973-977. DOI: 10.1134 / S0020168516090077
8. Кочергина М.П., Александров А.А. Опыт применения отвердителей в составах строительных жидкостеклянных композиций // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2019. № 6 (39). С. 301-305.
9. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Золь-гель технологии. Нанодispersный кремнезем [Электронный ресурс]. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. URL: <https://obuchalka.org/2017070295200/zol-gel-tehnologii-nanodispersnii-kremnezem-shabanova-n-a-sarkisov-p-d-2015.html> (дата обращения 17.07.2021).
10. Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Супонина А.П., Крысенко Г.Ф., Буланова С.Б., Колзунов В.А., Баринов Н.Н. Гидрохимический синтез силикатов кальция в системах CaCl₂ – Na₂SiO₃ – H₂O, CaSO₄·2H₂O – Na₂SiO₃ – H₂O, CaSO₄·2H₂O – SiO₂·nH₂O – КОН. Состав, структура, свойства // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2009. № 2 (144). С. 30-33.
11. Меледина Л.А. Новые наполнители и промотеры адгезии для резин, полученные на основе синтетических слоистых силикатов: автореферат дисс. ... канд. хим. наук: 05.17.06 / Меледина Людмила Афанасьевна. Москва, 2006. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01003306150.pdf (дата обращения 01.07.2021).

12. Ivaschenko, Y., Kochergina, M., Pavlova, I. Structure formation and properties of thermochemically modified silicate-sodium compositions. 2019. E3S Web of Conferences. 97. 02030. DOI: 10.1051 / e3sconf / 20199702030.
13. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по химии Наукова думка, 1987. 991 с.
14. Чукин Г. Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезёма. М.: Типография Паладин, ООО «Принта», 2008. 172 с.
15. Кнунянц И. Л. Химический энциклопедический словарь, М.: Советская энциклопедия, 1983. – 792 с.
16. Gordienko P. S., Suponina A. P., Yarusova S. B., Bulanov S. B., Krysenko G. F. and Kolzunov V. A. Study of the kinetic aspects of formation of calcium monosilicate in the model system $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. 82(9), Pp. 1505-1509. DOI: 10.1134 / S1070427209090018.
17. Горшков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.

Grishina Anna Nikolaevna

candidate of technical sciences, senior researcher, associate professor

Email: GrishinaAN@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

The organization address: 129370, Russia, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26

Korolev Evgenij Valer'evich

doctor of technical sciences, vice rector, professor

Email: prorektor_nr@spbgasu.ru

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

The organization address: 190005, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya st., 4

Chemical composition of barium hydrosilicates for cement modification

Abstract

Problem statement. The aim of this work is to establish the effect of various barium salts, as well as their concentration on the chemical composition of the products formed during their interaction with sodium hydrosilicates. The research objectives are to determine the effect of the concentration of barium salt on the chemical composition of the products of hydrochemical synthesis; to establish the type and concentration of the precipitating salt, which ensures the maximum efficiency of the product intended for the modification of cement systems - barium hydrosilicates, as well as the stable chemical composition of the precipitation products.

Results. It was found that in the IR spectra the product of precipitation of sodium hydrosilicates with barium chloride has more pronounced responses of vibrations of silicate structures than in precipitation with barium nitrate. Additional differential thermal analysis showed high formation of barium carbonate using barium nitrate. It is shown that the use of barium chloride makes it possible to obtain a stable product using precipitation in an amount of 80-90% of the stoichiometric one, which is characterized by a uniform content of the silicate phase and a low content of carbonates. When barium nitrate is used as a precipitant, a significant carbonization of the precipitation product occurs; therefore, a stable modifier composition is observed only when a precipitant is used in an amount of 70% of the stoichiometric one.

Conclusions. Thus, for the synthesis of a modifier based on barium hydrosilicates for mineral binding systems, it is advisable to precipitate hydrosilicates with a saturated solution of barium chloride. In this case, too, entrainment of air during the synthesis should be avoided in order to prevent carbonization of the resulting product.

Keywords: barium hydrosilicates, hydrochemical synthesis, chemical composition, composite cements.

For citation: Grishina A. N., Korolev E. V. Chemical composition of barium hydrosilicates for cement modification // Izvestiya KGASU. 2021. №4 (58). P. 39-48. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_39.

References

1. Cement manufacturers reduce CO2 emissions and "green" concrete // Platform "Ustojchivoe razvitiye". URL: <https://sdpl.ru/1051-proizvoditeli-cementa-sokraschayut-vybrosy-so2-i-ozelenyayut-beton.html> (reference date 05.08.2021).
2. GS-Expert: Cement market results of 2020 // Industry Portal cement.ru. URL: <https://cement.ru/nashi-novosti-i-statii/item/9731-gs-ekspert-rynok-tsementa-itogi-2020-goda.html> (reference date 07.08.2021).
3. Korolev E.V., Grishina A.N. Influence of nanoscale barium hydrosilicates on composition of cement stone // Key Engineering Materials. 2016. V. 683. Pp. 90-94. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.683.90.
4. Loganina V., Zhegera K., Fediuk R., Timokhin R., Liseitsev Y., Zayakhanov M. Amorphous aluminosilicates as a structure-forming additive in cementitious systems // Journal of materials in civil engineering. 2020. V. 32. № 5. 06020004. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002995.
5. Zhegera K.V., Pyshkina I.S., Martyashin G.V. Evaluations of efficiency of the use of amorphous aluminosilicates in dry mixes // Materials Science Forum. 2018. V. 945 MSF. Pp. 109-114. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.109.
6. Makridin N.I., Vernigorova V.N., Maksimova I.N. About microstructure and synthesis of strength of cement stone with HSC additives // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2003. № 8. Pp. 37-42.
7. Grishina A.N., Eremin A.V. Effect of barium hydrosilicates on the early hydration rate of portland cement // Inorganic Materials. 2016. V. 52. № 9. Pp. 973-977. DOI: 10.1134/S0020168516090077.
8. Kochergina M.P., Aleksandrov A.A. Experience in the use of hardeners in the composition of building water glass compositions // Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve. 2019. № 6 (39). Pp. 301-305.
9. Shabanova N.A., Sarkisov P.D. Sol-gel technology. Nanosized silica. M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2015. URL: <https://obuchalka.org/2017070295200/zol-gel-tehnologii-nanodispersnii-kremnezem-shabanova-n-a-sarkisov-p-d-2015.html> (reference date 17.07.2021).
10. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Suponina A.P., Krysenko G.F., Bulanova S.B., Kolzunov V.A., Barinov N.N. Hydrochemical synthesis of calcium silicates in the systems $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{SiO}_3 - \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{SiO}_3 - \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} - \text{KOH}$. Composition, structure, properties // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2009. № 2 (144). Pp. 30-33.
11. Meledina L.A. New fillers and adhesion promoters for rubbers based on synthetic layered silicates : avtoreferat diss. ... kand. him. nauk : 05.17.06 / Meledina Lyudmila Afanas'evna. Moskva, 2006. URL: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01003306150.pdf (reference date 01.07.2021).
12. Ivaschenko, Y., Kochergina, M., Pavlova, I. Structure formation and properties of thermochemically modified silicate-sodium compositions. 2019. E3S Web of Conferences. 97. 02030. DOI: 10.1051 / e3sconf / 20199702030.
13. Goronovskij I.T., Nazarenko YU.P., Nekryach E.F. A quick reference to chemistry Naukova dumka, 1987. 991 p.
14. CHukin G.D. Surface chemistry and structure of dispersed silica. M.: Paladin, OOO «Printa», 2008. 172 p.
15. Knunyanc I.L. Chemical encyclopedic dictionary. M.: Sovetskaya enciklopediya, 1983. – 792 p.
16. Gordienko P. S., Suponina A. P., Yarusova S. B., Bulanova S. B., Krysenko G. F. and Kolzunov V. A. Study of the kinetic aspects of formation of calcium monosilicate in the

- model system $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. 82(9), Pp. 1505-1509. DOI: 10.1134/S1070427209090018.
17. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savel'ev V.G. Methods of physical and chemical analysis of binders. – М.: Vysshaya shkola, 1981. – 335 p.

УДК 691.11

Сулейманов Альфред Мидхатович

доктор технических наук, профессор

Email: sulejmanov@kgasu.ru

Смирнов Денис Сергеевич

доцент, кандидат технических наук

Email: denis27111974@yandex.ru

Белаева Камиля Равиелевна

лаборант

Email: belaeva.kam@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Способ оценки долговечности деревянных опор

Аннотация

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка методики ускоренных климатических испытаний деревянных опор, обработанных антисептиком, с проведением испытаний и установлением сроков службы с учетом реальных климатических условий эксплуатации. Основная задача данной работы обусловлена необходимостью уточнения метода прогнозирования долговечности и длительной прочности древесины в нагруженных строительных изделиях и физического обоснования способа их повышения пропиткой специальными жидкостями. Актуальность затрагиваемой проблемы вызвана отсутствием в отечественной нормативной базе методов, позволяющих прогнозировать срок службы деревянных конструкций. При этом имеющиеся зарубежные методические аналоги не учитывают особенностей влияния силовых воздействий и реальных климатических условий их эксплуатации.

Результаты. Определены режимы ускоренных климатических испытаний древесины, обработанной антисептиком. Установлена кинетика снижения концентрации антисептика в составе древесины для различных режимов ее термостатирования в воде. Определена устойчивость древесины к биоповреждениям после расконсервации в ходе проведения ускоренных климатических испытаний. Изучено совместное влияние УФ-излучения, циклического замораживания и оттаивания на скорость развития деструктивных процессов поверхностных слоев деревянных конструкций.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что предложенную методику можно использовать для прогнозирования сроков службы любых видов деревянных конструкций. Что в свою очередь, позволит отрабатывать технологические режимы при их производстве связанные с антисептированием, термомодификацией и другими способами защиты для повышения долговечности, с учетом возможных условий эксплуатации. В результате исследований сделаны выводы, что циклическое замораживание и оттаивание, с последующим облучением УФ, как фактор агрессивного воздействия на древесину, при проведении ускоренных климатических испытаний существенного влияния на прочностные свойства и, как следствие на долговечность, не оказало.

Ухудшение свойств деревянных конструкций главным образом происходит под воздействием биологического повреждения. Главными факторами, влияющими на процесс вымывания антисептика, являются влажность и положительная температура среды. Наиболее сильное вымывание наблюдается при службе деревянных конструкций в воде и почве. При этом следует отметить, что климатические условия, в которых будут

находиться конкретные деревянные сооружения или конструкции, играют решающую роль в определении условий испытаний и влияния их на долговечность древесины.

Ключевые слова: деревянные конструкции, температурно-влажностное воздействие, антисептик, долговечность древесины, биоразрушение.

Для цитирования: Сулейманов А. М., Смирнов Д. С., Белаева К. Р. Способ оценки долговечности деревянных опор // Известия КГАСУ. 2021. 4 (58). С. 48-58. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_48.

1. Введение

Древесина – это возможно один из первых материалов, который использовал человек в строительстве. Но и сегодня древесина находит широкое применение в самых разных отраслях строительного производства [1].

К примеру, этот материал отлично подходит для использования в качестве опор, пролетных строений, ограждающих стеновых конструкций и т.д. Сухая древесина является хорошим диэлектриком, обладает относительно высокими прочностными характеристиками [2,3]. Помимо этого, деревянные конструкции дешевле, чем железобетонные аналоги, более транспортабельны, так как обладают меньшей массой, менее чувствительны к ударам. Монтаж, обслуживание и утилизация железобетонных и металлических конструкций значительно дороже, чем деревянных [4].

Однако без активных мер защиты срок эксплуатации древесины крайне мал. Для ее защиты от негативных факторов применяют широкий спектр мер. Одним из самых популярных является антисептическая обработка древесины [5]. Этот метод активно используют во многих странах, но все же вопрос прогнозирования долговечности древесины, обработанной антисептиком, остается слабо изученным, а количество научных работ по этой теме крайне мало. Все это делает данный вопрос актуальным.

В связи с вышеизложенным целью исследования является разработка надежной методики ускоренных климатических испытаний и способа повышения долговечности и длительной прочности древесины, обработанной антисептиком, в широком интервале температур и воздействии климатических факторов. В задачи исследования входит следующее:

1. Определить наиболее значимые параметры, по которым будет определяться предельное состояние деревянной конструкции, с учетом воздействия на нее силовых и атмосферных факторов.
2. Определить главные факторы, влияющие на процесс вымывания антисептика.
3. Определение режима климатических испытаний.
4. Определить характер вымывания антисептика из образцов путем их термостатирования.
5. Определение остаточной концентрации антисептика в образцах после испытаний.
6. Оценка биостойкости, путем проращивания на образцах грибов.
7. Проведение сравнения показателей образцов после ускоренных и натуральных испытаний.

2. Материалы и методы

Для исследований были использованы образцы из сосны обыкновенной (ГОСТ 9463-2016). Антисептик группы ССА (Cu, Cr, As) [6]. Предпропиточная влажность 28%, пропитка осуществляется методом Вакуум-Давление-Вакуум, поглощение антисептика не менее 10кг/м³, пропитка заболони 100%.

Для проведения климатических испытаний были отобраны образцы древесины с разной степенью содержания антисептика. Образцы изготовлены в виде брусков размерами 2х2х30 см.

При определении режимов климатических испытаний, изучались условия, в которых эксплуатируются деревянные конструкции, пропитанные антисептиком, с учетом климатических воздействий характерных для конкретного региона. В качестве факторов, влияющих на процесс разрушения и расконсервирования древесины выбраны:

ультрафиолетовое воздействие солнечного света; воздействие температуры; воздействие воды.

При этом следует отметить, что на разные части конструкции воздействуют различные факторы. Отдельные части конструкции находятся под землей, на них оказывает влияние температура и повышенная влажность, в результате чего создаются благоприятные условия для биоразрушения. Наиболее опасным следует считать биологическое повреждение древесины [7]. На верхнюю часть опоры, кроме периодического увлажнения и высушивания, замораживания и оттаивания, существенное влияние оказывает солнечная радиация, которая в свою очередь отрицательно воздействует на биологические формы и сокращает риск биоразрушения древесины. Активная жизнедеятельность дереворазрушающих грибов возможна лишь при положительных температурах (обычно от + 5°C) [8-10].

Исследования проводились в два этапа. На первом оценивалась скорость расконсервирования, а в качестве ключевых факторов, влияющих на вымывание антисептика и возможность возникновения биоповреждений, приняты температура и влажность, соответствующие условиям эксплуатации подземной части конструкции [11].

Испытания проводили непрерывно в течение всей продолжительности старения. В продолжительность старения не входит продолжительность вынужденных перерывов, которая не должна превышать 10 суток.

Продолжительность старения вычисляли по формуле:

$$\ln \frac{\tau_{\text{л}}}{\tau_{\text{э}}} = \frac{E_i}{R} \left(\frac{1}{T_{\text{л}}} - \frac{1}{T_{\text{э}}} \right), \quad (1)$$

где $\tau_{\text{л}}$ – продолжительность условного года в лабораторном масштабе времени, час;

$\tau_{\text{э}}$ – время воздействия $T_{\text{э}}$ за один год эксплуатации деревянных столбов, час;

$T_{\text{л}}$ – температура в лабораторных испытаниях древесины, принята равной 333 К;

R – универсальная газовая постоянная, равная $1,987 \times 10^{-3}$ ккал/моль.

$T_{\text{э}}$ – температура эксплуатации древесины (°К), вычисляют по формуле:

$$T_{\text{э}} = -\frac{E}{R} \left\{ \ln \left[\frac{1}{\tau_0} \sum_{j=1}^n \Delta \tau_j * \exp \left(-\frac{E}{RT_j} \right) \right] \right\}^{-1}, \quad (2)$$

где τ_0 – среднестатистическое количество часов заданной продолжительности хранения;

$\Delta \tau_j$ – продолжительность существования интервала температуры со средней температурой T_j , ч;

E_j – коэффициент, характеризующий зависимость скорости изменения показателей свойств материалов от температуры при старении. Если E_j принять равным минимальному значению, (10 ккал/моль), $T_{\text{э}}$ будет равен 279,52 °К

Тогда, время условного года лабораторных испытаний, согласно (1), составит:

$$\tau_{\text{л}} = 8760 \exp \frac{10}{1,987 \times 10^{-3}} \left(\frac{1}{333} - \frac{1}{279,52} \right) = 486 \text{ часов}$$

$$\tau_{\text{л}} = 8760 \exp \frac{10}{1,987 \times 10^{-3}} \left(\frac{1}{343} - \frac{1}{279,52} \right) = 313 \text{ часов}$$

$$\tau_{\text{л}} = 8760 \exp \frac{10}{1,987 \times 10^{-3}} \left(\frac{1}{353} - \frac{1}{279,52} \right) = 206 \text{ часов}$$

Согласно правилам проведения ускоренных испытаний по ГОСТ 9.707 указанные режимы применяют, только в том случае, когда испытания при температуре 353 °К (80°C) в течение 30 суток или при 333 °К (60°C) в течение 90 суток не привели к существенным изменениям показателя старения.

Для этого, образцы испытывали в указанном интервале температур и, поскольку в дальнейшем были установлены значительные изменения показателя старения, значение E_j

было принято из литературных источников [12-14], равное 26,5 ккал/моль, в таком случае значения T_3 составит 297,641 °K.

Время условного года лабораторных испытаний, согласно (1), составит:

При температуре 333 °K (60°C) $\tau_n = 85$ часов

При температуре 343 °K (70°C) $\tau_n = 24$ часа

При температуре 353 °K (80°C) $\tau_n = 7,5$ часов

На первом этапе образцы в необходимом количестве, помещали в сушильный шкаф с температурой 378 °K (105°C) до полного высушивания. Затем образцы перенесли в эксикатор и заливали дистиллированной водой. Отношение объема образцов к свободному объему контейнера после его заполнения образцами составляло не менее 2,0.

Эксикатор с образцами помещали в сушильный шкаф и термостатировали по выбранным режимам. Термическое старение проводили при температурах $T_{min} > T_{ср} > T_{max}$. Минимальная температура испытаний принимается равной или выше абсолютного максимума температуры хранения или эксплуатации материала. Максимальная температура испытаний T_{max} должна быть на 10 °K ниже температуры, при которой в материале образца начинаются физические и (или) химические процессы не имеющие место при температуре хранения и (или) эксплуатации. В процессе термостатирования дважды проводили смену воды в эксикаторе. Продолжительность испытаний при каждой температуре не должна быть меньше, чем требуется для получения существенных изменений показателей старения.

Через установленные временные интервалы отбирали не менее 5 образцов из партии, для каждого режима, высушивали в течение 3 суток при температуре 378°K (105°C), до постоянной массы.

Сначала оценивалось изменение массы образцов с различной степенью насыщения антисептиком после термостатирования.

Термостатирование образцов при температуре 363 °K (80°C) проводилось в воде с целью интенсификации процессов расконсервирования древесины в течение 15 суток, с последующей сушкой при температуре 105°C в течение 3-х дней и определением физико-механических характеристик через 5, 10 и 15 суток.

Термостатирование при 343 °K (70°C) проводилось в течение 48 суток и определением физико-механических характеристик через 12, 24, 36 и 48 суток и при 333 °K (60°C) – в течение 175 суток, и определением физико-механических характеристик через 35, 70, 105, 140 и 175 суток.

Для количественного определения содержания элементов в составе образцов использовался квадрупольный масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой NexION 300D, производства фирмы PerkinElmer США. Масс-анализатор NexION 300D служит для разделения ионов по их соотношению массы к заряду, которое, в свою очередь, определяется траекториями движения ионов, задаваемыми переменным электрическим полем. Измерение массовой концентрации элементов проводилось при нормальных климатических условиях, в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации прибора.

Биостойкость образцов оценивалось в лаборатории микробиологического анализа отдела химико-биологических исследований НИИ Химии ННГУ по ГОСТ 30028.4-2006 Средства защитные для древесины, экспресс-метод оценки эффективности против древоокрашивающих и плесневых грибов. Испытания проводили на 27 видах грибов, составляющих три группы по девять видов каждая.

На втором этапе исследований изучалось влияние УФ излучения, а также замораживания и оттаивания на деструктивные процессы поверхностных слоев деревянных конструкций, снижающих их несущую способность. При этом возможное изменение концентрации антисептика в древесине не учитывается.

Механизм старения и разрушения деревянных конструкций ускоряется при воздействии УФ – радиации солнца. Данные по суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность при безоблачном небе, количество переходов температуры через ноль, для определения количества циклов попеременного замораживания и оттаивания, взяты из свода правил по строительной климатологии.

Поскольку на сегодняшний день отсутствуют нормативные документы регламентирующие методы испытания древесины на морозостойкость, сначала требовалось определить температуры и время изотермической выдержки при замораживании и оттаивании древесины. Минимальную и максимальную температуры выдержки принимали исходя из условий эксплуатации конструкций для конкретной климатической зоны, с учетом средних температур самого холодного и самого теплого месяцев. Для Республики Татарстан эти температуры составляют -13°C и $+18^{\circ}\text{C}$ соответственно. Количество циклов замораживания и оттаивания соответствовало количеству циклов перехода через ноль в течение года в наиболее неблагоприятных областях климатической зоны Республики Татарстан, т.е. 100 циклов. Так как деструктивные процессы в древесине от воздействия УФ происходят только в поверхностных слоях, предложено оценивать время выдержки по показателю изменения твердости поверхностного слоя древесины. В ходе исследований были определены временные рамки, необходимые для установления режимов циклических воздействий на образцы. Величина твердости замороженного образца снижалась по мере оттаивания до значений соответствующей твердости насыщенной водой древесины при $+18^{\circ}\text{C}$ за 15-17 минут, в результате чего время оттаивания образцов было принято равным 20 минутам для устранения погрешностей.

На данном этапе испытаний образцы насыщались водой с последующим замораживанием в морозильной камере при температуре -13°C в течение 25 минут и оттаиванием замороженных образцов в воде при температуре $+18^{\circ}\text{C}$ в течение 20 минут. После чего образцы подвергали воздействию УФ излучения. Средняя годовая сумма УФ-радиации на вертикальную поверхность с учётом облачности для Республики Татарстан будет составлять $Q_s = 214 \text{ МДж/м}^2$ ($59,5 \text{ кВт}\cdot\text{час/м}^2$).

Проведение механических испытаний заключалось в определении прочности испытанных образцов на растяжение при изгибе, через 1, 3 и 5 лет ускоренных испытаний. Данная статическая схема нагружения выбрана исходя из условий работы деревянных опор [15].

3. Результаты

На рисунке 1 показана кинетика изменения массы образцов в зависимости от времени термического старения в пересчете на время условного года для ускоренных лабораторных испытаний, выраженное в часах. На рисунке 2 изменения этого же показателя в реальном времени.

Из представленных результатов видно закономерное снижение массы, которое может быть вызвано как вымыванием смол и других составляющих древесины, так и вымыванием антисептика [16].

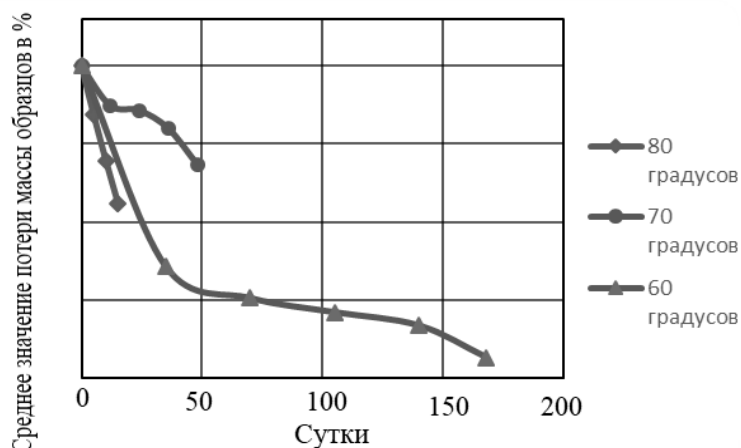


Рис. 1. Изменение массы образцов в процессе испытаний.

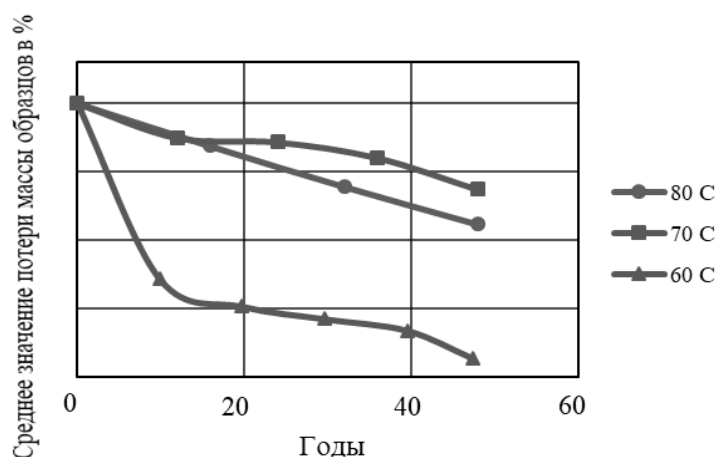


Рис. 2. Изменение массы образцов в процессе испытаний.

Параллельно проводилось измерение концентрации элементов антисептика в составе древесины с помощью масс-спектрометра. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание антисептика в образцах.

Концентрация антисептика (кг/м ³) и температура испытания (°C)	Время, сут.	Cu, мг/кг	Cr, мг/кг	As, мг/кг
C=22-24 кг/м ³ t=80°C	0	7340	14700	15180
	15	909	1035	244
C=22-24 кг/м ³ t=70°C	0	7340	14700	15180
	12	6964	14330	15040
	24	5577	9855	9364
	36	4674	7262	6395
	48	3156	6235	6097
C=16-18 кг/м ³ t=70°C	0	4391	9828	8675
	12	3413	6259	5621
	24	3672	5647	4743
	36	3342	4827	3775
	48	2797	4213	2800
C=10-12 кг/м ³ t=70°C	0	3428	7281	7031
	12	3099	6811	5723
	24	3329	6072	5819
	36	2723	4456	4637
	48	2263	3048	2629
C=22-24 кг/м ³ t=60°C	0	7340	14700	15180
	35	5877	11680	11890
	70	4458	8443	7513
	105	4023	8663	7331
	140	2782	4770	2929

На рисунках 3 и 4 представлены результаты механических испытаний образцов после циклического замораживания и оттаивания с последующим облучением. После статистической обработки данных, была рассчитана интенсивность разрушения поверхностных слоев древесины.

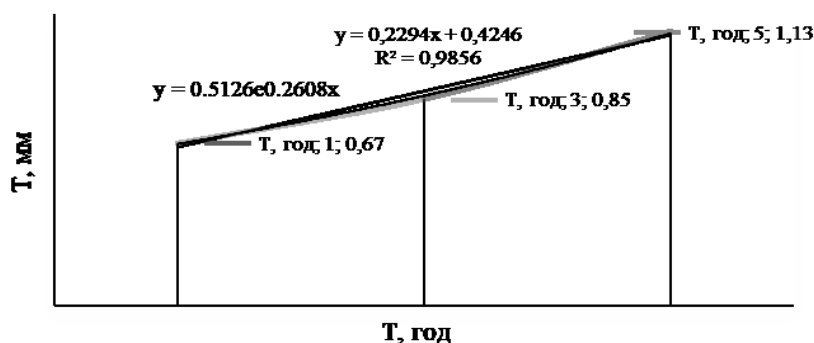


Рис. 3. Зависимость увеличения пораженного слоя в годах. Экспоненциальная линия тренда.

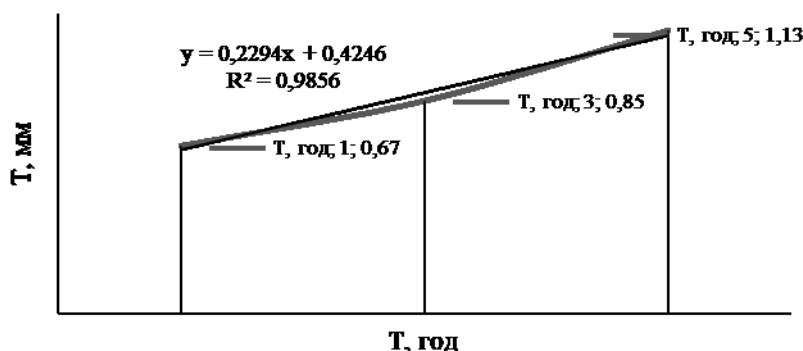


Рис. 4. Зависимость увеличения пораженного слоя в годах. Линейная линия тренда.

По данным расчетов видно, что экспоненциальная и линейная зависимости приводят к похожим результатам, правда в более поздние сроки экспоненциальная зависимость показывает не реалистичный прогноз интенсивности нарастания деструктивных процессов поверхностного слоя древесины. Поэтому, очевидна необходимость продолжения испытаний для более точного построения прогностической кривой скорости увеличения толщины пораженного слоя под воздействием циклического замораживания и оттаивания с последующим облучением УФ. Закономерность отражающая интенсивность разрушения поверхностного слоя деревянных конструкций, в свою очередь позволяет вычислить прогнозируемое снижение их несущей способности.

4. Обсуждение

Характер кривых представленных на рис. 1 и 2 показывает, что при температурах 353 °K (80°C) и 343 °K (70°C) в образцах, очевидно происходят деструктивные процессы, что не соответствует процессам ее расконсервации в реальных условиях эксплуатации. В связи с этим не рекомендовано проведение ускоренных климатических испытаний при температурах выше 333 °K (60°C).

Как видно из полученных результатов, наименьшее содержание антисептика имеет 3 партия, затем 4 и 5. Из результатов количественного определения содержания элементов в составе образцов видно, что при средней плотности древесины 460 кг/м³ концентрация антисептика в 5 партии составляет 5,1 %, 4 партии – 3,13 % и 3 партии 2,44 %. В процессе термостатирования, у всех образцов наблюдается снижение массы и постепенное вымывание антисептика из древесины [9]. Повышение температуры термостатирования ускоряет вымывание антисептика из образцов.

Результаты исследований на первом этапе испытаний показали, что контрольные (не подверженные термостатированию) образцы 5 и 3 партии с концентрацией 22-24 кг/м³ и 10-12 кг/м³ обеспечивают ей защиту по отношению к древоокрашивающим и плесневым грибам;

Термостатирование при 60°C и при 70°C снижает, но сохраняет биозащитный эффект антисептика на экспозиции образцов. Результаты исследований образцов, термостатированных при температуре 60 и 70°C, показали незначительное (допустимое) проявление биологической активности на поверхности.

Наиболее сильное вымывание наблюдается при эксплуатации деревянных конструкций в воде и почве. Следует отметить, что климатические условия, в которых будут находиться деревянные конструкции или сооружения, а также силовые воздействия играют решающую роль в определении условий испытаний и влияния их на долговечность древесины.

Второй этап исследований, заключавшейся в изучении влияния циклического замораживания и оттаивания и последующим УФ облучением поверхности древесины показал, что наблюдается снижение прочностных характеристик образцов. Однако, как фактор агрессивного воздействия на древесину, применительно к климатическим условиям Республики Татарстан оказывает значительно меньше деструктивного влияния по сравнению с процессом вымывания антисептика. При этом очевидна необходимость продолжения испытаний для более точного построения прогностической кривой скорости увеличения толщины пораженного слоя, протекающей под воздействием указанных факторов.

5. Заключение

1. Разработана методика ускоренных климатических испытаний деревянных опор, с учетом климатических условий эксплуатации характерных для Республики Татарстан. Полученные результаты доказали состоятельность предложенной функциональной модели лабораторных испытаний.

2. Результаты испытаний деревянных образцов, пропитанных методом Вакуум-Давление-Вакуум антисептиком группы ССА показали, что срок службы конструкций зависит от интенсивности вымывания антисептика.

3. Предложенную методику можно использовать для прогнозирования сроков службы любых видов деревянных конструкций с учетом особенностей их изготовления, влияния силовых факторов, а также климатических условий их эксплуатации.

Список библиографических ссылок

1. Davor Kržišnik, Boštjan Lesar, Nejc Thaler, Miha Humar Micro and material climate monitoring in wooden buildings in sub-Alpine environments. // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 166. P. 188-195. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.01.118
2. Миронов В. А., Забелина С. А., Шутенко В. В. Деревянные конструкции. – М.: Автономная некоммерческая организация высшего образования «Московский информационно-технологический университет – Московский архитектурно-строительный институт», 2020. 178 с.
3. Tao Li, Da-li Cheng, Stavros Avramidis, Magnus E. P. Wålinder, Ding-guo Zhou Response of hygroscopicity to heat treatment and its relation to durability of thermally modified wood // Construction and Building Materials. 2017. Vol.144. P. 671-676. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.03.218
4. Качалин Н. В. Изменение прочности древесины при нагревании в автоклавах // Деревообрабатывающая промышленность. Вып. 6. С. 4. DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012103
5. Фролова Т. И., Селькуп С и Оутокумпу Эффективность защиты древесины антисептиками УЛТАН // Лесной журнал. 2005. Вып.3.2. С. 102-106
6. Matthias Noll, Christian Buettner, Sandra Lasota Copper containing wood preservatives shifted bacterial and fungal community compositions in pine sapwood in two field sites. // International Biodeterioration & Biodegradation. 2019/ Vol. 142. P. 26-35. DOI:10.1016/j.ibiod.2019.04.007

7. Ada Bersoja Hernández, Christine Angelini Wood traits and tidal exposure mediate shipworm infestation and biofouling in southeastern U.S. estuaries. // *Ecological Engineering*. 2019. Vol.132. Iss. 12. P. 1-12. DOI:10.1016/j.ecoleng.2019.03.008
8. Nicola Macchioni, Benedetto Pizzo, Chiara Capretti An investigation into preservation of wood from Venice foundations. // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol.111. Iss.4. P. 652-661. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2016.02.144
9. Solrun Karlsen Lie, Thomas K.Thiis, Geir I. Vestøl, Olav Høibø, Lone Ross Gobakken Can existing mould growth models be used to predict mould growth on wooden claddings exposed to transient wetting? // *Building and Environment*. 2019. Vol. 152. P. 192-203. DOI:10.1016/j.buildenv.2019.01.056
10. Johanna Elam, Charlotte Björddal A review and case studies of factors affecting the stability of wooden foundation piles in urban environments exposed to construction work // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2020. Vol. 148. P. 1-9. DOI:10.1016/j.buildenv.2019.01.056
11. Urve Kallavus, Hele Järv, Targo Kalamees, Lembit Kurik Assessment of durability of environmentally friendly wood-based panels // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 132. P. 207-212
12. Марьяндышев П. А., Чернов А. А., Попова Е. И., Любов В. К. Кинетическое исследование древесного топлива, углей и гидролизного лигнина. // *Современные наукоемкие технологии*. 2015. Т. 12. Вып. 2. С. 251 .
13. Ермоченков М. Г., Семенов Ю. П. Математическое моделирование процессов, протекающих в древесине при термическом модифицировании // *Вестник московского государственного университета леса - лесной вестник*. 2015. Вып. 4. С. 92-96.
14. Гончарова Н. В., Сячинова Н. В. изучение свойств экстрактов сосны, полученных растворителями различной природы методом дифференциально-сканирующей калориметрии // *Успехи современного естествознания*. 2017. Т.193. Вып.1. С. 7-12
15. Беленков, Дмитрий Андреевич Вероятностный метод исследования антисептиков для древесины. - Свердловск: Урал. ун-та, 1991. - 176 с.
16. Кузнецов И. Л., Гимранов Л. Р. Новый узел соединения деревянных элементов // *Вестник ПГТУ*. 2020. Т. 14. Вып. 2. С. 62-69. DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2020.2.62>

Suleymanov Alfred Midkhatovich

doctor of technical sciences, professor

Email: sulejmanov@kgasu.ru**Smirnov Denis Sergeevich**

candidate of technical sciences, associate professor

Email: Denis27111974@yandex.ru**Belaeva Kamilya Ravilevna**

laboratory assistant

Email: belaeva.kam@gmail.com**Kazan State University of Architecture and Civil Engineering**

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

Durability of wooden structures**Abstract**

Problem statement. The purpose of this work is to develop a methodology for accelerated climatic testing of wooden structures treated with antiseptic, by means of testing and setting service life taking into account the actual climatic conditions of operation. The main task of this work is due to the need to clarify the method of forecasting the durability and long-term strength of wood in loaded building products and the physical justification of the method for increasing them by impregnation with special liquids.

Results. The results of testing the wood samples impregnated by the Vacuum-Pressure-Vacuum method with an antiseptic of the CSA group showed that the service life of structures depends on the intensity of leaching with an antiseptic and does not exceed 60 years. When exposed to wooden structures with ultraviolet radiation and alternating freezing and thawing, without considering biological damage, the service life of a wooden beam with dimensions of 100x200x5000 mm can reach 580 years.

Conclusions. As a result of the conducted studies, it was concluded that cyclic freezing and thawing with subsequent ultraviolet irradiation, as a factor of aggressive impact on wood, during accelerated climatic tests, did not significantly affect the strength properties and, as a result, durability.

Deterioration of the properties of wooden structures mainly occurs under the influence of biological damage. The main factors affecting the process of washing out the antiseptic are humidity and positive ambient temperature. The most severe leaching is observed during the operation of wooden structures in water and soil. It should be noted that the climatic conditions in which specific wooden buildings or structures are located play a crucial role in determining the test conditions and their impact on the durability of wood.

Keywords: wooden structures, temperature and humidity, durability of wood, biodegradation.

For citation: Suleymanov A. M., Smirnov D. S., Belaeva K. R. Durability of wooden structures // Izvestiya KGASU. 2021. 4 (58). C. 48-58. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_48.

References

1. Davor Kržišnik, Boštjan Lesar, Nejc Thaler, Miha Humar Micro and material climate monitoring in wooden buildings in sub-Alpine environments. // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 166. pp. 188-195. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.01.118
2. Mironov V. A., Zabelina S. A., Shutenko V. V. Wooden structures. - M.: Autonomous non-profit organization of Higher education "Moscow Information Technology University - Moscow Institute of Architecture and Civil Engineering", 2020. 178 p.
3. Tao Li, Da-li Cheng, Stavros Avramidis, Magnus E. P. Wålinder, Ding-guo Zhou Response of hygroscopicity to heat treatment and its relation to durability of thermally modified wood // Construction and Building Materials. 2017. Vol.144. P. 671-676. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.03.218

4. Kachalin N. V. Changing the strength of wood when heated in autoclaves // Woodworking industry. Vol. 6. p. 4. DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012103
5. Frolova T. I., Selkur S. and Outokumpu The effectiveness of wood protection with antiseptics ULTAN // Lesnoy zhurnal. 2005. Issue.3.2. pp. 102-106
6. Matthias Noll, Christian Buettner, Sandra Lasota Copper containing wood preservatives shifted bacterial and fungal community compositions in pine sapwood in two field sites. // International Biodeterioration & Biodegradation. 2019/ Vol. 142. P. 26-35. DOI:10.1016/j.ibiod.2019.04.007
7. Ada Bersosa Hernández, Christine Angelini Wood traits and tidal exposure mediate shipworm infestation and biofouling in southeastern U.S. estuaries. // Ecological Engineering. 2019. Vol.132. Iss. 12. P. 1-12. DOI:10.1016/j.ecoleng.2019.03.008
8. Nicola Macchioni, Benedetto Pizzo, Chiara Capretti An investigation into preservation of wood from Venice foundations. // Construction and Building Materials. 2016. Vol.111. Iss.4. P. 652-661. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2016.02.144
9. Solrun Karlsen Lie, Thomas K.Thiis, Geir I. Vestøl, Olav Høibø, Lone Ross Gobakken Can existing mould growth models be used to predict mould growth on wooden claddings exposed to transient wetting? // Building and Environment. 2019. Vol. 152. P. 192-203. DOI:10.1016/j.buildenv.2019.01.056
10. Johanna Elam, Charlotte Björddal A review and case studies of factors affecting the stability of wooden foundation piles in urban environments exposed to construction work // International Biodeterioration & Biodegradation. 2020. Vol. 148. P. 1-9. DOI:10.1016/j.buildenv.2019.01.056
11. Urve Kallavus, Hele Järv, Targo Kalamees, Lembit Kurik Assessment of durability of environmentally friendly wood-based panels // Energy Procedia. 2017. Vol. 132. P. 207-212
12. Maryandyshev P. A., Chernov A. A., Popova E. I., Lyubov V. K. Kinetic study of wood fuel, coals and hydrolysis lignin. // Modern high-tech technologies. 2015. Vol. 12. Issue. 2. P. 251.
13. Ermochenkov M. G., Semenov Yu. P. Mathematical modeling of processes occurring in wood during thermal modification // Bulletin of the Moscow State University of Forests - lesnoy vestnik. 2015. Issue 4. pp. 92-96.
14. Goncharova N. V., Syachinova N. V. The study of the properties of pine extracts obtained by solvents of various nature by differential scanning calorimetry // Successes of modern natural science. 2017. Vol.193. Issue 1. pp. 7-12
15. Belenkov, Dmitry Andreevich Probabilistic method of research of antiseptics for wood. - Sverdlovsk: Ural. un-ta, 1991. - 176 p.
16. Kuznetsov I.L., Gimranov L.R. New node for joining wooden elements // Bulletin of PSTU. 2020. Vol. 14. Issue. 2.S. 62-69. DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2020.2.62>

УДК 691.16

Обухов Александр Геннадьевич

аспирант

Email: Alexandr.Obukhov@lukoil.com

Высоцкая Марина Алексеевна

кандидат технических наук, доцент

Email: roruri@rambler.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

Адрес организации: Россия 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Щебеночно-мастичный асфальтобетон на битумном вяжущем из неокисленного компаундированного сырья

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – оценка влияния на физико-механические и эксплуатационные показатели щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) модифицированного битумного вяжущего, полученного компаундированием неокисленного нефтяного сырья.

Для достижения поставленной цели были намечены и решены следующие задачи:

- разработать эффективные составы щебеночно-мастичного асфальтобетона;
- выполнить сравнительный анализ физико-механических характеристик дорожных композитов, приготовленных с использованием полимерно-битумных вяжущих традиционного состава (ПБВ-60) и на неокисленном компаундированном сырье (ПБВн-60);
- оценить вклад модифицированного битумного вяжущего в структурообразование ЩМА на его основе, интенсивность образования колеи, усталостную долговечность и температуру трещинообразования.

Результаты. Цель исследования реализовывалась посредством решения ряда задач: разработать эффективные составы ЩМА; выполнить сравнительный анализ физико-механических характеристик дорожных композитов, приготовленных с использованием полимерно-битумных вяжущих традиционного состава и на неокисленном компаундированном сырье; оценить вклад модифицированного битумного вяжущего в структурообразование композита.

Показано, что ЩМА с применением модифицированного полимером неокисленного битумного вяжущего, характеризуется увеличением показателей прочности на сжатие при 20 и 50 °С относительно базовых составов, приготовленных на ПБВ, на 5% и 12% соответственно; трещиностойкость понижается на 15%, что свидетельствует о снижении жесткости композита в условиях низких температур; показатели длительной водостойкости исследуемого состава на 11 % больше, чем для контрольной серии ЩМА.

Установлено, что ЩМА, выполненный на основе разработанного битумного вяжущего, отличается повышенной долговечностью, количество циклов нагружения до 50% уменьшения начального модуля жесткости при температуре 20 °С составило 652 тыс. циклов, и устойчивостью к необратимому пластическому деформированию, при многократном приложении колесной нагрузки при температуре испытания 60 °С глубина колеи составила менее 1 мм.

Выводы. Значимость затронутой тематики для отрасли обусловлена возможностью расширения сырьевой базы для получения эффективных битумных вяжущих модифицированных полимером, посредством вовлечения неокисленного нефтяного сырья. Выполненные исследования демонстрируют, что, используя приемы модифицирования неокисленного компаундированного битумного сырья, возможно получить эффективные ЩМА, отличающиеся высокими прочностными и эксплуатационными показателями.

Ключевые слова: модифицированное битумное вяжущее, полимерно-битумное вяжущее, неокисленное нефтяное сырье, щебеночно-мастичный асфальтобетон, усталостная долговечность, устойчивость к колееобразованию, низкотемпературное разрушение.

Для цитирования: Обухов А. А., Высоцкая М. А. Щебеночно-мастичный асфальтобетон на битумном вяжущем из неокисленного компаундированного сырья // Известия КГАСУ. 2021. 4 (58). С. 59-70. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_59.

1. Введение

В соответствии с вызовами современности, обеспечение качества битума и увеличение объемов его производства – первостепенная отраслевая задача, требующая комплексного подхода к материалам, технологиям и стандартам, начиная с этапа получения битумного вяжущего и заканчивая его использованием в дорожном хозяйстве.

Отправной точкой оценки потребителем качества автомобильных дорог является состояние покрытия проезжей части, как правило, выполненной из асфальтобетона. С учетом современных трендов, верхние слои дорожной одежды выполняются с использованием щебеночно-мастичных асфальтобетонов (ЩМА) в отношении которых также справедлива прямая зависимость между качеством битумных вяжущих и эксплуатационными характеристиками композитов, приготовленных на их основе [1-2].

Дуальность стоящей перед отраслями задачи решается с позиции нефтеперерабатывающей отрасли посредством диверсификация сырьевого пула, выпуска мономарок битумного вяжущего на нефтеперерабатывающих заводах и/или внедрением различных технологических приемов по производству битума [3-5]. В свою очередь, деятельность дорожно-строительной отрасли нацелена на регулирование качества поступающего на объекты битума путем использования различных модифицирующих компонентов в виде полимеров [6,7], волокон, жидких, вязких и твердых добавок поверхностно-активных веществ и отходов промышленности [8,9], а также непосредственно самих дорожных композитов [10-12]. Цель подобных итераций - проектирование асфальтобетонов заданных характеристик с высоким прогнозируемым сроком работоспособности в слоях дорожных конструкций.

Таким образом, производители и потребители битумных вяжущих стоят перед необходимостью комплексного решения и выработкой компромиссного подхода по сохранению или расширению сырьевой базы битумного производства, качеством товарного продукта и его ценой.

Производство нефтепереработчиками и использование дорожниками компаундированных неокисленных битумных вяжущих — это своеобразный компромисс на пути реализации поставленных перед отраслями вызовов.

Необходимо отметить, что опыт получения ПБВ с использованием неокисленных сырьевых составляющих и устройства экспериментальных участков с асфальтобетонным покрытием на его основе существует [13-18]. Анализ публикаций демонстрирует, что использование в технологии приготовления дорожных битумов полностью неокисленного нефтяного сырья может являться эффективным технологическим приемом, позволяющим получать вяжущие с уникальными характеристиками.

Затронутые в работе проблемы по разработке и использованию неокисленных битумных вяжущих в составе ЩМА и оценка влияния подобных вяжущих на эксплуатационные характеристики композита — это недалекое будущее отраслей, определяющее потенциальные тренды их развития.

Таким образом, целью исследования явилась оценка влияния на физико-механические и эксплуатационные показатели щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) модифицированного битумного вяжущего, полученного компаундированием неокисленного нефтяного сырья

Для достижения поставленной цели были намечены и решены следующие задачи:

- разработать эффективные составы щебеночно-мастичного асфальтобетона;
- выполнить сравнительный анализ физико-механических характеристик дорожных композитов, приготовленных с использованием полимерно-битумных вяжущих традиционного состава (ПБВ-60) и на неокисленном компаундированном сырье (ПБВн-60);
- оценить вклад модифицированного битумного вяжущего в структурообразование ЩМА на его основе, интенсивность образования колеи, усталостную долговечность и температуру трещинообразования.

2. Материалы и методы

В представленной работе рассматривалась компаундированная битумная сырьевая база, полученная методом последовательного смешения компонентов нефтепереработки, модифицированная полимером.

Сравнительному анализу по оценке влияния на показатели свойств ЩМА подвергались экспериментальный образец (ПБВн-60) и классический ПБВ-60, приготовленный по стандартной методике на основе окисленного битума. Показатели свойств, используемых в работе вяжущих представлены в таблице 1.

Полимерно-битумные вяжущие испытывались по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ Р 52056-2003. Дополнительно оценивалась устойчивость к расслаиванию образцов ПБВ и склонность к старению по методике RTFOT.

Также в работе для приготовления щебеночно-мастичных смесей использовался инертный минеральный материал: щебень, отсеб дробления из габбро-диабаз карьер ЗАО «Габро» и известняковый минеральный порошок. Используемые в работе материалы оценивались по методикам, изложенным в ГОСТ на каждый из видов сырья. В качестве стабилизирующей добавки применялся VIATOR 66.

Таблица 1

Используемые в работе полимерно-битумные вяжущие марки 60

Наименование показателей	Требования ГОСТ Р 52056-2003	Вид вяжущего	
		ПБВн	ПБВ
1	2	3	4
Основные показатели			
Однородность	однородно	одн.	одн.
Глубина проникания иглы 0,1 мм при 25 °С 0 °С	не менее 60	80	76
	32	33	32
Температура, °С: размягчения КиШ хрупкости по Фраасу	>58	83	70
	< -20	-26	-23
Растяжимость при 25 °С, см	> 25	79	65
Эластичность при 25 °С, %	> 80	96	92
Растяжимость при 0 °С, см	> 11	28	19
Эластичность при 0 °С, %	> 70	75	72
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	< 5	1	4

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
Температура вспышки, °С	< 230	275	262
Сцепление с песком	обр. №2	№2	№2
Дополнительные показатели			
Устойчивость к расслаиванию при температуре (180±5) °С в течении (72±1) ч			
Разница между верхней и нижней частью образца в: - глубине проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм - температуре размягчения, °С	не норм.	1	4
	не норм.	1	5
Старения по методу RTFOT			
Максимальное усилие при растяжении, Н при 25 °С 0 °С	не норм.	6,8	4,4
	не норм.	75	95

При выполнении исследовательской части работы, связанной с оценкой влияния модифицированного вяжущего на физико-механические и эксплуатационные показатели ЩМА-20 на первом этапе, был подобран гранулометрический состав минеральной части.

Необходимыми данными для подбора состава ЩМА служили рассевы минеральных материалов. Подбор состава асфальтобетонной смеси выполнялся с использованием программного продукта Granlab. Зерновые составы используемых минеральных материалов и ЩМА-20 представлены в таблице 2.

Таблица 2

Зерновой состав минеральной части ЩМА-20

Наименование минеральных материалов	Содержание, %	Зерновой состав (остатки, % по массе, на ситах с отверстием, мм)									
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
щебень фр. 15-20 мм	42	36,50	5,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
щебень фр. 10-15 мм	25	25,00	22,88	4,70	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
щебень фр. 5-10 мм	10	10,00	10,00	9,80	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
отсевов дробления фр. 0-5 мм	10	10,00	10,00	9,98	9,29	6,32	4,75	3,29	1,98	0,92	0,00
мин. порошок	13	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	12,99	12,93	12,26	10,32
ИТОГО	100	94,50	61,40	37,48	23,19	19,32	17,75	16,28	14,91	13,18	10,32

Содержание вяжущего (ПБВн и ПБВ) и стабилизирующей добавки было подобранно в соответствии с ГОСТ 31015-2002, по устойчивости смеси к расслаиванию по показателю стекания вяжущего и составило: битумное вяжущее - 4,8%, добавка - 0,4%.

Современные направления в области проектирования асфальтобетонов базируются на повышении точности прогнозирования их долговечности в дорожных покрытиях в зависимости от конкретных условий эксплуатации. Разработан ряд методик оценки эксплуатационных свойств композитов, учитывающих реальные условия работы покрытия. В работе использованы методики оценки устойчивости к колееобразованию, температурным напряжениям при охлаждении образцов, усталостной долговечности.

Оценка устойчивости к колееобразованию выполнялась на оборудовании InfraTest Prütechnik (Германия) посредством прокатки приготовленных плит из ЩМА размером 320x260x00 мм при температуре испытания 60°C и после 20000 проходов колеса.

Усталостная долговечность оценивалась при помощи универсальной сервопневматической системы с модулем для оценки усталостной долговечности. Испытание проводилось при температуре 20°C и частоте приложения нагрузки 10 Гц. В процессе тестирования фиксировались начальный модуль жесткости образцов и число циклов приложения нагрузки до 50% снижения начального модуля жесткости.

Испытание на температурные напряжения при охлаждении образца (TSRST) выполнялись на установке TRAVIS. Для этого образец композита в виде балки 160x40x40 мм, помещался в разрушающее устройство, установленное в климатическую камеру установки. В процессе тестирования происходило планомерное охлаждение образцов с фиксацией низкотемпературного напряжения и температуры разрушения образца.

3. Результаты

Апробация ПБВн выполнялась на составе смеси ЩМА-20. Для сравнения также испытывалась смесь, приготовленная на ПБВ-60 из битума окисленного. Результаты испытания двух серий щебеночно-мастичного асфальтобетона представлены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели свойств ЩМА-20

Наименования показателя	Требования ГОСТ	Фактические значения	
		ПБВ-60	ПБВн-60
1	2	3	4
Пористость минеральной части, %	от 15 до 19	15,4	15,3
Остаточная пористость, %	от 2,0 до 4,5	2,3	2,2
Стекание битумного вяжущего, %	не более 0,20	0,14	0,12
Водонасыщение, %	от 1,5 до 4,0	2,10	1,80
Предел прочности при сжатии, МПа:	не менее	3,80	4,00
– при 20 °С	2,5	1,25	1,40
– при 50 °С	0,70		

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
Сдвигоустойчивость:	не менее		
– коэффициент внутреннего трения	0,94	0,95	0,97
– сцепление при сдвиге при 50 °С, МПа	0,20	0,45	0,46
Трещиностойкость при 0 °С, МПа:	3,0 – 6,5	5,4	4,7
Водостойкость при длительном водонасыщении	не менее 0,75	0,80	0,89

Как видно, для образцов ЩМА с применением ПБВн-60 характерны более высокие показатели прочности на сжатие при 20, 50 °С и водостойкости. Стоит отметить показатель трещиностойкости при 0 °С, который меньше, чем для контрольного состава и позволяет прогнозировать меньшую чувствительность к низким температурам.

Особенность структурообразования щебеночно-мастичных асфальтобетонов, обусловленная жестким скелетным каркасом из щебня, позволяет формировать конструктивный слой покрытия устойчивым к пластическим сдвиговым деформациям. В тоже время, сформированное каркасное межзерновое пространство, заполненное повышенным содержанием мастичной части, состоящей из битумного вяжущего, минерального порошка и стабилизирующей добавки, делает ЩМА более долговечным. Совокупность структурных особенностей позволяет говорить о ЩМА, как материале для покрытий автомобильных дорог с высокими эксплуатационными характеристиками.

Оценка влияния вида используемого битумного вяжущего (экспериментального состава ПБВн-60 и классического ПБВ-60) на эксплуатационные показатели ЩМА выполнялась на основе теста на колееобразование и усталостную долговечность, таблица 4.

Таблица 4

Эксплуатационные показатели свойств ЩМА-20

Наименование вяжущего	Показатель			
	колееобразование		многократное нагружение (усталостная долговечность)	
	угол наклона кривой колееобразования WTS, мм/1000 циклов	глубина колеи RD, мм	начальный модуль жесткости, МПа	количество циклов до 50% снижения модуля жесткости, 10 ³ циклов
ПБВн-60	0,02	0,98	1560	652
ПБВ-60	0,12	2,10	1385	425

В процессе определения склонности дорожного композита к колееобразованию фиксировались угол наклона кривой колееобразования и глубина колеи от прохода прокатывающего колеса.

Оценка усталостной долговечности проводилась по начальному модулю жесткости композита при 20 °С и количеству циклов приложения нагрузки к образцу до снижения его модуля жесткости до 50%.

Обозначенные испытания характеризуют работу при повышенных летних температурах (60 °С) и нормальных (20 °С) условиях работы композита в покрытии автомобильных дорог. Однако, важным параметром работы материала в конструктиве, является его поведение при низких зимних температурах, которым соответствуют низкотемпературное растрескивание слоя ввиду разницы температурного коэффициента сжатия у каменного материала и битумного вяжущего.

В процессе испытания образцов-балочек на установке TRAVIS, при планомерном охлаждении образцов ЩМА, выполненных на битумном вяжущем из неокисленного компаундированного сырья (ПБВн-60) и стандартном ПБВ-60, фиксировалась температура разрушения образцов и характер разрушения. Данные представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты низкотемпературного испытания на установке TRAVIS

Показатели	Наименование вяжущего	
	ПБВн-60	ПБВ-60
Температура трещинообразования, °С	-25,8	-26,4
Характер разрушения образца ЦМА-20		

4. Обсуждение

Анализ полученных данных демонстрирует, что ЦМА-20 с применением ПБВн-60, в основе приготовления которого лежит последовательное компаундирование продуктов нефтепереработки, характеризуется более высокими показателями прочности на сжатие при 20°C и 50°C относительно композита на базовом ПБВ и составляет 5% и 12%, соответственно. Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при температуре 0°C серии ЦМА, выполненной на контрольном составе ПБВ-60, превышает почти на 15% аналогичный показатель композита, полученного на ПБВн-60, что свидетельствует о повышении жесткости образца в условиях низких температур.

Дорожные асфальтобетоны работают в условиях агрессивного воздействия воды, что определяет важность показателя водостойкости, зависящего от адгезионных характеристик битумного вяжущего. Как видно, применение модифицированного компаундированного неокисленного битумного вяжущего для ЦМА позволяет получить показатели водостойкости на 11 % больше, чем для стандартной серии.

Оценивая физико-механические показатели образцов ЦМА, стоит отметить, что экспериментальная серия по своим характеристикам превосходит контрольный состав, что, очевидно, обусловлено регулированием группового химического состава разработанного ПБВн. Подобный подход к модификации битумной сырьевой базы полимерным модификатором позволяет в полном объеме раскрыть потенциал полимера, создавая своего рода армирование структуры вяжущего, проявляющегося в расширении его температурного интервала работоспособности и увеличении максимального усилия при растяжении, а также устойчивости к расслаиванию. Подобный набор характеристик, отражаясь на прочностных показателях композита, должен повлечь за собой и прирост показателей, отвечающих за его долговечность и эксплуатационную надежность.

В общем виде, наиболее часто рассматривается три варианта деформации асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги, определяемые характером прикладываемой нагрузки. В случае, если несущая способность грунта земляного полотна и дорожной одежды соответствует техническим требованиям к объекту, а коэффициент уплотнения конструктивных слоев соответствует проектным нормам, нежесткая дорожная одежда под действием колеса автомобиля не разрушается стремительно. Конструктивный слой асфальтобетонного покрытия испытывает упругие деформации с релаксацией напряжений после снятия колесной нагрузки. Возрастание нагрузки, особенно сопряженной с сезонными изменениями несущей способности основания транспортного объекта (осенне-весенняя распутица) увеличивает интенсивность накопления пластических деформаций. При достижении суммарной нагрузки от подвижного состава,

неблагоприятных погодных и технологических факторов величины, превышающей предельную прочность асфальтобетона в конструктиве дорожной одежды, наступает отказ эксплуатационной надежности покрытия. Этому периоду соответствует образование трещин, выбоин, пластических деформаций и так далее до разрушения дорожной одежды.

Анализ усталостной долговечности, характеризующей способность материала к релаксации напряжений при заданных температурах, показал, что начальный модуль жесткости экспериментальной серии ЩМА (на ПБВн), превысил аналогичный показатель контрольного состава ЩМА на ПБВ60 на 12%, что говорит о большей жесткости композита при 20 °С. Однако, для снижения модуль жесткости до 50% анализируемому составу потребовалось 652 тыс. циклов, что на 35% или 227 тыс. циклов больше, чем у контрольного состава ЩМА-20.

Так же ЩМА-20, выполненный на основе вяжущего марки ПБВн-60, отличается повышенной сдвигоустойчивостью композита. Данные по сопротивлению необратимому пластическому деформированию при многократном приложении колесной нагрузки показали, что глубина колеи на образце-плите при температуре испытания 60°С и 20000 циклов прохода колеса составила менее 1 мм, а интенсивность развития пластической деформации характеризуется пологим трендом линии.

По устоявшемуся мнению, [19], неоокисленные битумные вяжущие, в силу своих особенностей группового состава, склонны к проявлению хрупких свойств, а композиты на их основе, в свою очередь, к деструктивным процессам при низких температурах. Смоделированные условия работы ЩМА в покрытии при низких температурах посредством метода TRAVIS показали, что разница в температуре трещинообразования образцов выполненных на неоокисленном компаундированном вяжущем и классическом ПБВ-60 составляет 0,6 °С. Данная величина находится в диапазоне погрешности эксперимента и наглядно демонстрирует, что неоокисленные компаундированные битумные вяжущие модифицированные полимером не уступают вяжущим, полученным по классической технологии с использованием окисленного сырья.

Представляет определенный интерес характер разрушения образцов при определении температуры трещинообразования. Как видно из таблицы 5, разрушение идет не по контактной зоне, представляющей комплексную системы «битумное вяжущее - минеральный порошок – стабилизирующая добавка», а по каменному материалу.

Принято считать, что при всех своих достоинствах, неоокисленные компаундированные битумные вяжущие отличаются набором хрупких свойств, особенно при низких температурах [7,11], что в свою очередь отражается на трещиностойкости дорожных композитов, выполненных на их основе [13,20-25]. Полученные данные демонстрируют, что фактическая температура трещинообразования композитов, выполненных на основе ПБВ из окисленного и неоокисленного нефтяного сырья отличается незначительно (менее 1 °С) в пределах погрешности эксперимента.

5. Заключение

Разработанные составы щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе модифицированного неоокисленного компаундированного сырья характеризуются высокими прочностными показателями. Установлено, что ЩМА с применением экспериментального вяжущего, характеризуется показателями прочности на сжатие при 20 и 50°С выше на 5% и 12% соответственно, чем для базовых составов, приготовленных на классическом ПБВ. При этом, трещиностойкость образцов понижается на 15%, а показатели длительной водостойкости исследуемого состава увеличиваются на 11 %, что свидетельствует о снижении жесткости композита в условиях низких температур и упрочнении адгезионных связей на границе раздела «минеральный материал - вяжущее» относительно контрольной серии ЩМА. Незначительная разница в показателях температуры трещинообразования в структуре ЩМА демонстрирует, что использование в основе разработки состава компаундированного неоокисленного битумного вяжущего научно-обоснованного подхода к его групповому составу, позволяет нивелировать низкотемпературные характеристики композитов.

Выполненными исследованиями показано, что ЩМА на основе разработанного битумного вяжущего отличается повышенной долговечностью: количество циклов

нагрузки до 50% уменьшения начального модуля жесткости при температуре 20 °С составило 652 тыс. циклов, что почти на 35% больше у образцов контрольной серии, при этом устойчивость к необратимому пластическому деформированию, при многократном приложении колесной нагрузки при температуре испытания 60 °С (глубина колеи) составила менее 1 мм.

Анализ вклада модифицированного битумного вяжущего в структурообразование ЩМА на его основе, интенсивность образования колеи, усталостная долговечность и температура трещинообразования позволяют утверждать, что ЩМА приготовленные на полимерно-битумных вяжущих с использованием приемов компаундирования неокисленного нефтяного сырья (ПБВн-60) не уступают по показателям композитам, выполненным на традиционном ПБВ-60.

Более того, эффективность разработки обусловлена возможностью использования некондиционного сырья нефтепереработки и исключением процессов окисления вяжущего.

Список библиографических ссылок

1. Углова Е. В., Ширяев Н. И., Ни Гуансун, Поздняков Н. О. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств щебеночно-мастичных и дренирующих асфальтобетонных смесей для слоев износа // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2019. №1. С. 9-15. DOI: 10.12737/article_5c5061fd688293.78594078
2. Рязяпов М. Ш., Вдовин Е. А. Применение щебеночно-мастичного асфальтобетона на полимерно-битумных вяжущих в покрытии автомобильных дорог // Научное сообщество студентов XXI столетия. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. XXXV междунар. студ. науч.-практ. конф. 2015. № 9(34).
3. Макаренко В. С., Корнилов Д. А. Особенности диверсификации крупных нефтегазодобывающих компаний по мере выработки запасов углеводородов // Иннов: электронный научный журнал. 2018. №3 (36). 14 с.
4. Белова Н. А., Исраилова З. С., Страхова Н. А. Проблемы и перспективы производства нефтяных битумов // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2016. №2. С. 139-150.
5. Горбунова Т. Н., Усов Б. А. Современные технологии производства дорожных битумов // Системные технологии. 2017. №22. С. 67-72.
6. Galeev R., Nizamov R., Abdrakhmanova L., Khozin V. Resource-saving polymer compositions for construction purposes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012111.
7. Galeev R., Abdrakhmanova L. A., Nizamov R. Nanomodified Organic-Inorganic Polymeric Binders for Polymer Building Materials // Solid State Phenom. 2018. Vol. 276. P. 223–228. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.276.223.
8. Усов Б. А., Горбунова Т. Н. Свойства и модификация битумных вяжущих // Системные технологии. 2017. № 22. С. 72-87.
9. Вольфсон С. И., Хакимуллин Ю. Н., Закирова Л. Ю., Хусаинов А. Д., Вольфсон И. С., Макаров Д. Б., Хозин В. Г. Модификация битумов, как способ повышения их эксплуатационных свойств // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №17. С. 29-33.
10. Прокопец В. С., Иванова Т. Л. Модификация дорожного асфальтобетона резиновыми порошками механоактивационного способа получения. Омск, 2012. 125 с.
11. Левкович Т. И., Беляков А. И., Билько А. Е., Тищенко А. С. О модификации битумов и асфальтобетонных смесей для повышения сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Приволжский научный вестник. 2016. №1 (53). С. 48-53.
12. Нифталиев С. И., Перегудов Ю. С., Хорин Н. Ю., Нечесова Ю. М. Модифицирование асфальтобетона минерально-полимерной добавкой на основе бутадиен-стирольного каучука и химически осажденного карбоната кальция // Вестник ВГУИТ. 2016. №4 (70). С. 215-221. DOI: 10.20914/2310-1202-2016-4-215-221

13. Хуснутдинов И. Ш., Копылов А. Ю., Гончарова И. Н., Гаврилов В. И., Ахметзянов А. М., Романов Г. В., Петрова Л. М., Грязнов П. И. Изучение свойств асфальтобетонов неокисленных остаточных битумов, полученных деасфальтизацией природного битума // *Химия и химическая технология*. 2009. Т. 52. Вып. 4. С. 88-91.
14. Галиуллин Э. А., Хайрутдинов В. Ф., Фахрутдинов Р. З., Кириченко С. М., Фарахов М. И. Экспериментальное исследование получения неокисленных битумов из высоковязких нефтей методом термopарового воздействия // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. №6. С. 252-253.
15. Киселев В. П., Шевченко В.А., Васильовская Г.В. Устойчивость к старению нефтяного дорожного битума, модифицированного малокарбoксилированными полибутадиенами // *Известия вузов. Строительство*. 2015. № 3. С. 78-84.
16. Vysotskaya M.A. Shekhovtsova S.Yu., Obukhov J.Y., Esipova G. Stability of modified binders on basis of oxidized and residual bitumens to thermodestructions A // *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017. 6(58). P. 140–147. DOI:10.26518/2071-7296-2017-6(58)-140-147
17. Ширкунов А. С., Рябов В. Г., Куудинов А. В., Нечаев А. Н., Дегтянников А. С. Получение нефтяных дорожных битумов с повышенной стойкостью против старения // *Известия вузов. Нефть и газ*. 2010. № 5. С. 89- 94.
18. Ширкунов А. С., Рябов В. Г., Чудаков И. К. Получение полимербитумных вяжущих с использованием модификатора Elvaloy 4170 get на основе строительного битума марки БН 70/30 и неокисленных высококипящих нефтепродуктов // *Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология*. 2010. №11. С. 106-113.
19. Галиуллин Э. А., Фахрутдинов Р. З. Исследование влияния группового состава на показатели качества неокисленных и окисленных битумов, полученных из Ашальчинской сверхвязкой нефти // *Вестник Казанского технологического университета*. 2017. №20. С. 31-36.
20. Vysotskaya M., Kuznetsov D., Shiryayev A., Litovchenko D. Assessing the Effect of Polymer's Type and Concentration on the Properties of the Polymer-Bitumen Binders (PBB) on Road Construction // *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies "EMMFT 2019"*. 2019. Vol. 2(983). P.947–959. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_94
21. Almusawi A., Sengoz B., Topal A. Investigation of Mixing and Compaction Temperatures of Modified Hot Asphalt and Warm Mix Asphalt // *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2020. Vol. 65(1). P. 72- 83. DOI:10.3311/PPci.15118
22. Sengul, C.E., Oruc S., Iskender E., Aksoy, A. Evaluation of SBS modified stone mastic asphalt pavement performance // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 41. P. 777-783. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.12.065
23. Imaninasab R. Effect of granular polymers on rutting performance of SMA with respect to modification process // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 130. P. 64-72. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.025
24. Pouranian M. R., Imaninasab R., Shishehbor M. The effect of temperature and stress level on the rutting performance of modified stone matrix asphalt // *Road Materials and Pavement Design*. 2020. Vol. 21. №. 5. P. 1386-1398. DOI: 10.1080/14680629.2018.1546221
25. Babagoli R., Mohammadi R. Laboratory evaluation of the effect of styrene-butadiene-styrene–montmorillonite nanocomposite on rheological behavior of bitumen and performance of stone matrix asphalt mixtures // *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2017. Vol. 44. №. 9. P. 736-742. DOI: 10.1139/cjce-2017-0041

Obukhov Alexandr Gennadievich

post-graduate student

Email: Alexandr.Obukhov@lukoil.com.

Vysotskaya Marina Alekseevna

candidate of technical sciences, associate professor

Email: roruri@rambler.ru

Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov

Organization address: Russia 308012, Belgorod region, Belgorod, Kostyukova st., 46

Crushed stone-mastic asphalt concrete based on bitumen binder from unoxidized compounded raw materials**Abstract**

Problem statement. The purpose of the study is to assess the effect of modified bituminous binder obtained by compounding unoxidized petroleum feedstock on the physical, mechanical and operational parameters of crushed stone-mastic asphalt concrete (SMA).

Results. To achieve this goal, the following tasks were outlined and solved: to develop effective compositions of SMA; to carry out a comparative analysis of the physical and mechanical characteristics of road composites prepared using polymer-bitumen binders (PBB) of traditional composition and unoxidized compounded raw materials; to evaluate the contribution of the modified bituminous binder to the structure formation of the composite.

It was shown that SMA with the use of a polymer-modified unoxidized bitumen binder is characterized by an increase in compressive strength at 20 and 50 ° C relative to the base compositions prepared using PBB, by 5% and 12%, respectively; fracture toughness decreases by 15%, which indicates a decrease in the stiffness of the composite at low temperatures; the indicators of long-term water resistance of the composition under study are 11% higher than for the control series of SMA.

It was found that SMA made on the basis of the developed bitumen binder is characterized by increased durability, the number of loading cycles up to 50% decrease in the initial stiffness modulus at a temperature of 20 ° C was 652 thousand cycles, and resistance to irreversible plastic deformation, with repeated application of wheel load at the test temperature of 60 ° C, the track depth was less than 1 mm.

Conclusions. The significance of this topic for the industry is due to the possibility of expanding the raw material base to obtain effective bitumen binders modified with a polymer by involving unoxidized petroleum feedstock. The performed studies demonstrate that using the methods of modifying unoxidized compounded bitumen raw materials; it is possible to obtain effective SMA, characterized by high strength and performance characteristics.

Keywords: modified bitumen binder, polymer-bitumen binder, unoxidized petroleum feedstock, crushed stone-mastic asphalt concrete, fatigue life, resistance to rutting, low temperature destruction.

For citation: Obukhov A. A., Vysotskaya M. A. Crushed stone-mastic asphalt concrete based on bitumen binder from unoxidized compounded raw materials // Izvestija KGASU. 2021. 4 (58). P. 59-70. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_58.

References

1. Uglova E.V., Shiryaev N.I., Ni Guangsun, Pozdnyakov N.O. Comparative analysis of the performance properties of crushed stone-mastic and draining asphalt concrete mixtures for wear layers // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 1. P. 9-15. DOI: 10.12737/article_5c5061fd688293.78594078
2. Ryazyapov M.Sh. Vdovin E.A. The use of crushed stone-mastic asphalt concrete on polymer-bitumen binders in the road surface // Scientific community of students of the XXI century. NATURAL SCIENCES: Collection of the articles of XXXV int. stud. scientific-practical conf. 2015. No. 9 (34).

3. Makarenko V.S., Kornilov D.A. Features of diversification of large oil and gas producing companies as hydrocarbon reserves are developed // *Innov: electronic scientific journal*. 2018. No. 3 (36). 14 p.
4. Belova N.A., Israilova Z.S., Strakhova N.A. Problems and prospects of oil bitumen production // *Bulletin of DSTU. Technical science*. 2016. No. 2. P. 139-150.
5. Gorbunova T.N., Usov B.A. Modern technologies for the production of road bitumen // *System technologies*. 2017. No. 22. P. 67-72.
6. Galeev R., Nizamov R., Abdrakhmanova L., Khozin V. Resource-saving polymer compositions for construction purposes // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012111.
7. Galeev R., Abdrakhmanova L. A., Nizamov R. Nanomodified Organic-Inorganic Polymeric Binders for Polymer Building Materials // *Solid State Phenom*. 2018. Vol. 276. P. 223–228. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.276.223.
8. Usov B.A., Gorbunova T.N. Properties and modification of bituminous binders // *System technologies*. 2017. No. 22. P. 72-87.
9. Wolfson S.I., Khakimullin Yu.N., Zakirova L.Yu., Khusainov A.D., Wolfson I.S., Makarov D.B., Khozin V.G. Modification of bitumen as a way to improve their performance // *Bulletin of Kazan Technological University*. 2016. No. 17. P. 29-33.
10. Prokopets V.S., Ivanova T.L. Modification of road asphalt concrete with rubber powders of mechanoactivation method of production. Omsk, 2012. 125 p.
11. Levkovich T.I., Belyakov A.I., Bilko A.E., Tishchenko A.S. Modification of bitumen and asphalt concrete mixtures to increase the shear stability of asphalt concrete pavements of highways // *Privolzhsky scientific bulletin*. 2016. No. 1 (53). P. 48-53.
12. Niftaliev S.I., Peregudov Yu.S., Khorin N.Yu., Nechesova Yu.M. Modification of asphalt concrete with a mineral-polymer additive based on styrene-butadiene rubber and chemically precipitated calcium carbonate // *Vestnik VSUIT*. 2016. No. 4 (70). P. 215-221. DOI: 10.20914/2310-1202-2016-4-215-221
13. Khusnutdinov I.Sh., Kopylov A.Yu., Lutfullin M.F., Goncharova I.N., Gavrilov V.I., Petrova L.M., Khanova A.G. Comparative analysis of non-oxidized bitumen obtained by different methods // *Chemistry and chemical technology*. 2009. T. 52. Issue. 12 P. 80-84.
14. Galiullin E.A., Khairutdinov V.F., Fakhrutdinov R.Z., Kirichenko S.M., Farakhov M.I. Experimental study of obtaining unoxidized bitumen from high-viscosity oils by the method of thermocouple exposure // *Bulletin of Kazan Technological University*. 2014. No. 6. P. 252-253.
15. Kiselev V.P., Shevchenko V.A., Vasilovskaya G.V. Aging resistance of oil road bitumen modified with low carboxylated polybutadienes // *Izvestiya vuzov. Construction*. 2015. No. 3. P. 78-84.
16. Vysotskaya M.A. Shekhovtsova S.Yu., Obukhov J.Y., Esipova G. Stability of modified binders on basis of oxidized and residual bitumens to thermodestructions A // *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017. 6(58). Pp. 140–147. DOI:10.26518/2071-7296-2017-6(58)-140-147.
17. Shirkunov A.S., Ryabov V.G., Kudinov A.V., Nechaev A.N., Degtyannikov A.S. Obtaining oil road bitumen with increased resistance to aging // *Izvestiya vuzov. Oil and gas*. 2010. No. 5. P. 89- 94.
18. Shirkunov A.S., Ryabov V.G., Chudakov I.K. Obtaining polymer-bitumen binders using the Elvaloy 4170 ret modifier based on BN 70/30 construction bitumen and unoxidized high-boiling petroleum products // *Bulletin of PNRPU. Chemical technology and biotechnology*. 2010. No. 11. P. 106-113.
19. Galiullin E.A., Fakhrutdinov R.Z. Investigation of the influence of the group composition on the quality indicators of unoxidized and oxidized bitumen obtained from Ashalchinskaya superviscous oil // *Bulletin of Kazan Technological University*. 2017. No. 20. P. 31-36.
21. Vysotskaya M., Kuznetsov D., Shiryaev A., Litovchenko D. Assessing the Effect of Polymer's Type and Concentration on the Properties of the Polymer-Bitumen Binders (PBB) on Road Construction // *International Scientific Conference Energy Management of*

- Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies "EMMFT 2019". 2019. Vol. 2(983). P.947–959. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_94
22. Almusawi A., Sengoz B., Topal A. Investigation of Mixing and Compaction Temperatures of Modified Hot Asphalt and Warm Mix Asphalt // Periodica Polytechnica Civil Engineering. 2020. Vol. 65(1). P. 72- 83. DOI:10.3311/PPci.15118
23. Sengul, C.E., Oruc S., Iskender E., Aksoy, A. Evaluation of SBS modified stone mastic asphalt pavement performance // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 41. P. 777-783. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.12.065
24. Imaninasab R. Effect of granular polymers on rutting performance of SMA with respect to modification process // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 130. P. 64-72. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.025
25. Pouranian M. R., Imaninasab R., Shishehbor M. The effect of temperature and stress level on the rutting performance of modified stone matrix asphalt // Road Materials and Pavement Design. 2020. Vol. 21. №. 5. P. 1386-1398. DOI: 10.1080/14680629.2018.1546221
26. Babagoli R., Mohammadi R. Laboratory evaluation of the effect of styrene-butadiene-styrene–montmorillonite nanocomposite on rheological behavior of bitumen and performance of stone matrix asphalt mixtures // Canadian Journal of Civil Engineering. 2017. Vol. 44. №. 9. P. 736-742. DOI: 10.1139/cjce-2017-0041

УДК 691.3

Мухаметрахимов Рустем Ханифович

кандидат технических наук, доцент

Email: muhametrahimov@mail.ru

Галаутдинов Альберт Радикович

кандидат технических наук, старший преподаватель

Email: galautdinov89@mail.ru

Потапова Людмила Ильинична

кандидат химических наук, доцент

Email: ludmilapo@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Гарафиев Айнура Маратович

руководитель группы отдела экспертиз и испытаний

Email: garafiev93@mail.ru

ООО ПИИ «Центр экспертиз и испытаний в строительстве»

Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Шмидта, д. 35

Исследование структурообразования модифицированного шунгитсодержащего цементного камня методом ИК-спектроскопии

Аннотация

Постановка задачи. Одним из направлений стратегии научно-технологического развития Российской Федерации является разработка новых эффективных строительных материалов с комплексом высоких эксплуатационных и специальных свойств. Особые свойства шунгитовых пород обуславливают актуальность их применения в композициях на основе минеральных вяжущих для придания им специальных свойств. Не снижая значимости имеющихся исследований в данной области следует отметить проблему, заключающуюся в недостаточной изученности особенностей процессов структурообразования цементного камня, модифицированного молотым шунгитом в сочетании с минеральными и химическими добавками, что сдерживает широкое применение шунгита в технологии бетонов. Цель исследований заключается в изучении особенностей фазового состава цементного камня модифицированного тонкомолотым шунгитом, метакраулингом и пластифицирующей добавкой методом ИК-спектроскопии, который может являться матрицей шунгитсодержащих бетонов со специальными свойствами. Задачами исследований являются определение актуальности применения

шунгитовых пород, обусловленной их положительными свойствами, отечественными объемами запасов и имеющимся опытом применения в технологии строительных материалов; сравнительная оценка количества гидратных новообразований в структуре исходного и модифицированного цементного камня; выявление возможных причин, обуславливающих положительное влияние шунгита на свойства цементного камня.

Результаты. На основе анализа спектрограмм исследуемых составов цементного камня в характерных для него интервалах значений волновых чисел установлено, что модифицирование тонкомолотым шунгитом, метаксаолином и пластифицирующей добавкой позволяет увеличить количество гидросиликатов и низкоосновных гидросульфатоалюминатов кальция в его структуре, наличие которых обуславливает повышение показателей прочности и водостойкости модифицированного цементного камня.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в установлении особенностей фазового состава гидратных новообразований цементного камня, модифицированного молотым шунгитом в сочетании активной минеральной и пластифицирующей добавками, что может найти широкое применение в технологии шунгитосодержащих бетонов при зимнем бетонировании.

Ключевые слова: цемент, цементный камень, шунгит, активная минеральная добавка, пластификатор, ИК-спектроскопия, структура, свойства.

Для цитирования: Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р., Потапова Л. И., Гарафиев А. М. Исследование структурообразования модифицированного шунгитосодержащего цементного камня методом ИК-спектроскопии // Известия КГАСУ. 2021. № 4 (58). С. 70–81. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_70.

1. Введение

Применение шунгитовых пород в технологии бетонов обусловлено их способностью оказывать положительное влияние на процессы структурообразования композитов и свойства затвердевшего камня [1], а также относительной стабильностью объемов их отечественного производства. Так объемы запасов шунгитовых пород согласно данным [2] превышают 80 млн. тонн, суммарные прогнозируемые ресурсы шунгитовых пород Карелии оцениваются на уровне 2 млрд. тонн.

Известен положительный опыт производства и применения шунгизитобетона в строительстве. Так в работе [3] приведены свойства шунгизитового гравия, составы и свойства шунгизитового бетона марок М50-М250, а также рассмотрены особенности производства и применения шунгизитобетонных конструкций. На рис. 1, 2 приведены конвейерная линия по выпуску двумодульных однослойных шунгизитобетонных панелей и пример многоквартирного жилого дома, возведенного с их использованием.

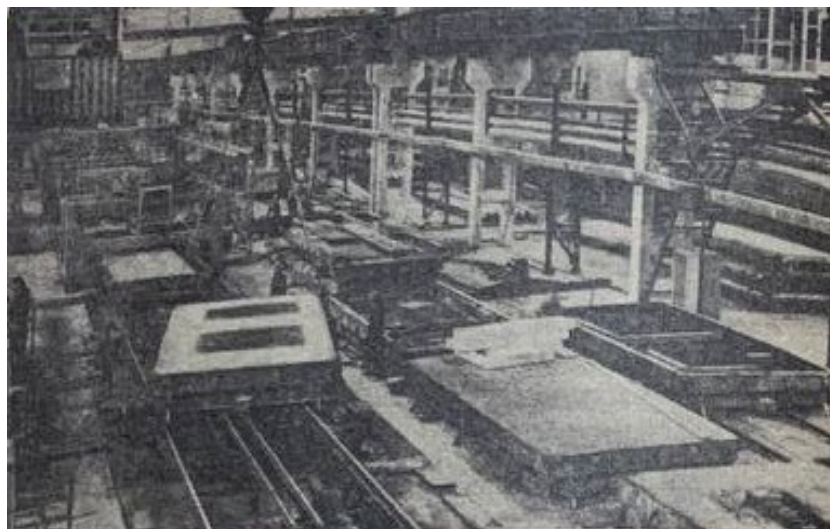


Рис. 1. Конвейерная линия по изготовлению стеновых панелей из шунгизитобетона на комбинате строительных конструкций №1, г. Петрозаводск [3]



Рис. 2. Девятиэтажное здание серии III-75 с наружными стенами из шунгизитобетона [3]

Следует отметить ряд работ, направленных на применение молотых частиц шунгита в качестве модификатора минеральных вяжущих и бетонов на их основе. Так, в работе [4] показано положительное влияние обработанного ультразвуком шунгита на реологические и физико-механические характеристики модифицированного мелкозернистого бетона. В работе [5] показана возможность получения термостойких огнезащитных покрытий на основе бетонных смесей, модифицированных молотым шунгитом.

Известен положительный опыт применения молотого шунгита для повышения эколого-радиационных [6,7] и радиозащитных [8] свойств строительных материалов.

Одной из областей применения шунгитсодержащего бетона является технология зимнего бетонирования методом электродного прогрева, обусловленная электропроводящими свойствами шунгита [9,10]. В ранее выполненных исследованиях установлена возможность повышения эффективности электродного прогрева бетона с применением токопроводящего минерала шунгита и возможности снижения материальных затрат на его осуществление в технологии бетонирования при отрицательных температурах [11–14]. Установлено оптимальное содержание шунгита с точки зрения эффективности снижения величины электрического сопротивления, при этом по результатам физико-механических испытаний установлено, что введение шунгита в количестве 1-5 % приводит к повышению средней плотности затвердевших композитов (на 0,5–2,3 %), прочности (на 3,14–8,26 %), что, по-нашему мнению, обусловлено особенностями их структурообразования и вызывает интерес для дальнейших исследований [15].

Применение активных минеральных [16] и химических [17–19] добавок в технологии бетонов является одним из наиболее широко применяемых способов регулирования его свойств и долговечности [20–22], что определяет необходимость исследования особенностей структурообразования шунгитсодержащих цементных композитов в сочетании с наиболее распространенными видами данных модификаторов.

В связи с этим, особую актуальность приобретают работы, направленные на изучение влияния молотого шунгита в сочетании с активной минеральной и пластифицирующей добавками на особенности структурообразования, формирования фазового состава цементного камня и бетонов на его основе.

Цель исследований – изучить особенности фазового состава цементного камня, модифицированного тонкомолотым шунгитом, метакраулингом и пластифицирующей добавкой, методом ИК-спектроскопии.

Объект исследований – цементный камень исходного (контрольного) и модифицированного составов. Предмет исследований – особенности фазового состава гидратных новообразований в зависимости от вида и количества модифицирующих добавок. Задачами исследований являются определение актуальности применения

шунгитовых пород, обусловленной их положительными свойствами, отечественными объемами запасов и имеющимся опытом применения в технологии строительных материалов; сравнительная оценка количества гидратных новообразований в структуре исходного и модифицированного цементного камня; выявление возможных причин, обуславливающих положительное влияние шунгита на свойства цементного камня.

2. Материалы и методы

В качестве исходных материалов для изготовления модифицированного шунгитсодержащего цементного камня применялись следующие компоненты:

а) портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н производства ОАО «Сухоложскцемент» по ГОСТ 31108-2016, следующего вещественного и химического состава: SiO_2 – 21,0; Al_2O_3 – 4,8; Fe_2O_3 – 3,9; CaO – 61,7; MgO – 2,8; SO_3 – 2,8; Щелочи – 0,7; Cl – 0,012.

б) тонкомолотый шунгит Зажогинского месторождения Республики Карелия, следующего химического состава: SiO_2 – 57,0 %; TiO_2 – 0,2 %; Al_2O_3 – 4,3 %; MgO – 1,2 %; CaO – 0,3 %; Na_2O – 0,2 %; K_2O – 1,5 %; S – 1,5 %; C – 28,0 %; $\text{H}_2\text{O}_{\text{крис}}$ – 3,0 %.

Микроструктура тонкомолотого шунгитового порошка при увеличении $\times 5000$ и спектры проб, полученные методом электронно-микроскопического и микрозондового анализов, приведены на рис. 1–3, согласно которым преобладающими элементами пробы являются Si, C, Al.

в) метакраин МКЖЛ производства ЗАО «Пласт-Рифей» по ТУ 5729-097-12615988-2013 [106], с удельной поверхностью $1357 \text{ м}^2/\text{кг}$, полученный термической обработкой обогащенного каолина месторождения Журавлиный Лог, Челябинской области, следующего химического состава: Al_2O_3 – 42,0 %; SiO_2 – 55,8 %; Fe_2O_3 – 0,7 %, TiO_2 – 0,4 %; K_2O – 0,9 %; Na_2O – 0,05 %; CaO – 0,15 %.

г) пластифицирующая добавка – водный раствор поликарбоксилатного эфира «Glenium® Ace 430» производства ООО «BASF Строительные системы», плотностью при 20°C – $1,06 \text{ г/см}^3$, pH при 20°C – 4-7.

в) водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011.

Приготовление цементного теста производили по ГОСТ 310.3-76, с последующим формированием образцов-кубов размером $2 \times 2 \times 2 \text{ см}$. После 28 суток нормального твердения изучаемые образцы цементного камня измельчали в агатовой ступке до частиц микронного размера.

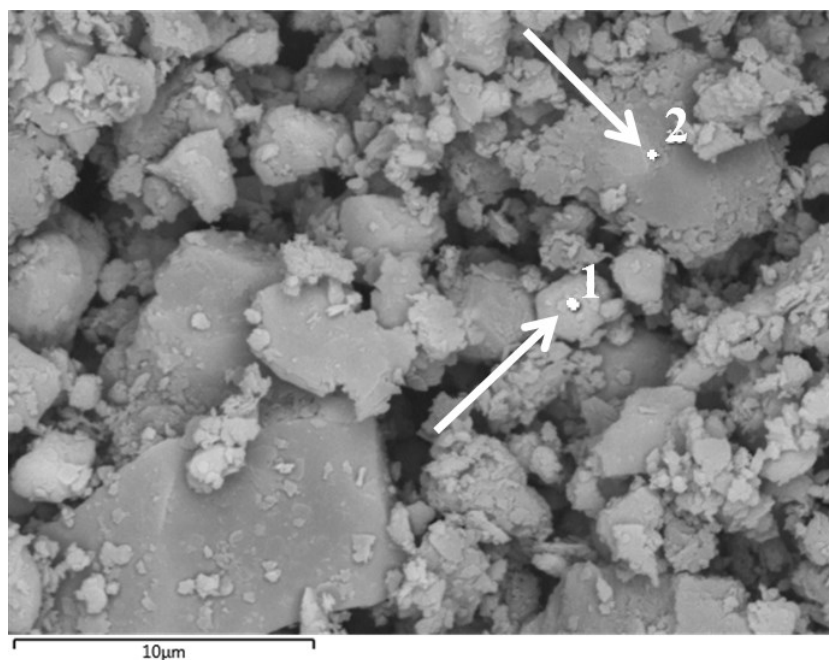


Рис. 3. Микроструктура тонкомолотого шунгитового порошка при увеличении $\times 5000$ (иллюстрация авторов)

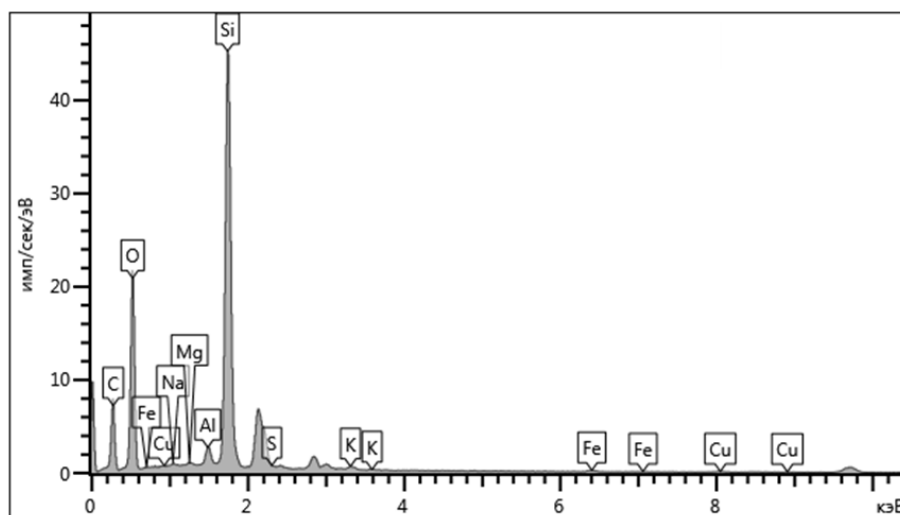


Рис. 4. Спектры пробы шунгитового порошка в точке 1 (иллюстрация авторов)

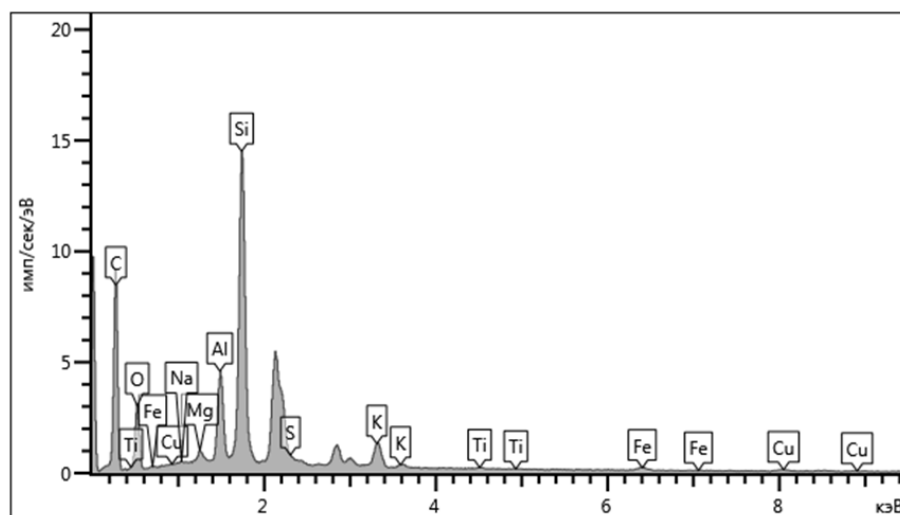


Рис. 5. Спектры пробы шунгитового порошка в точке 2 (иллюстрация авторов)

ИК-спектроскопию образцов цементного камня осуществляли на Фурье ИК-спектрофотометре «Spectrum 65», производства «Perkin-Elmer» с применением приставки НПВО «Miracle ATR» (кристалл ZnSe) в области $4000-600\text{ см}^{-1}$, как правило, при 20 сканах. Осуществление записи и вычитания фонового спектра производилась автоматически. Порошок цементного камня прижимался к кристаллу НПВО специальным прижимом, входящим в комплект приставки. После регистрации автоматически осуществлялись НПВО-коррекция и сохранение спектра для последующего анализа полученных данных [23,24].

3. Результаты и обсуждение

ИК-спектры исследуемых составов цементного камня приведены на рис. 4. Анализ данных, приведенных на рис. 4 позволяет выделить отклики характерные для продуктов гидратации цементного камня. Наличие максимума при значениях волновых чисел $3640-3650\text{ см}^{-1}$ характеризует наличие в структуре цементного камня ксонотлита, относящегося к группе гидросиликатов [25]. При этом анализ ИК-спектров цементного камня составов №№ 1-4 свидетельствует о несущественном влиянии их модифицирования АМД, ПД и шунгитом, обусловленной сравнимыми показателями величины отражения волновых чисел в данном интервале.

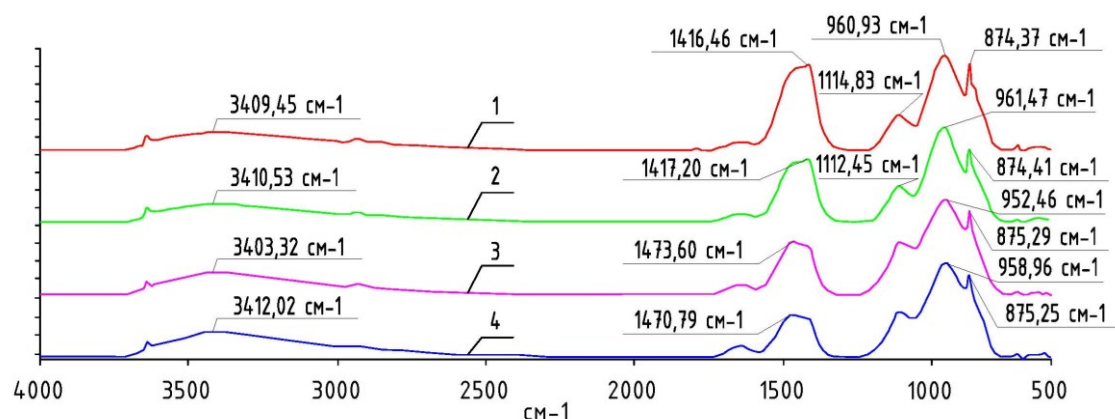


Рис. 6. ИК-спектры цементного камня: 1 – исходный состав; 2 – исходный состав, модифицированный шунгитом; 3 – исходный состав, модифицированный АМД и ПД; 4 – исходный состав, модифицированный шунгитом, АМД и ПД (иллюстрация авторов).

Значения волновых чисел в интервале $3403\text{--}3412\text{ см}^{-1}$ характеризуют наличие субмикрорекристаллов гидросиликатов группы тоберморита в исследуемых составах [26]. Возрастание величины отражения в данном интервале волновых чисел в образце №3 свидетельствует об увеличении количества гидросиликатов в его составе, что обуславливает повышение показателей прочности и водостойкости цементного камня модифицированного АМД, ПД и шунгитом. Незначительный рост величины отражения в интервале волновых чисел $3403\text{--}3412\text{ см}^{-1}$ в образце №4 по сравнению с составом №3 свидетельствует о позитивном влиянии молотого шунгита на образование гидросиликатов данной группы и увеличение физико-технических характеристик цементного камня, модифицированного АМД и ПД, что по нашему мнению, обуславливается его гидравлической активностью в сочетании со способностью частиц шунгита выступать в роли центров кристаллизации [27]. Данное наблюдение подтверждается при сравнении составов №1 и №2, что выражается в незначительном снижении рассматриваемых отражений в образце без шунгита.

Изучение значений волновых чисел в интервалах $1416\text{--}1473\text{ см}^{-1}$, $874\text{--}875\text{ см}^{-1}$ свидетельствует о наличии карбоната, гидрокарбоната кальция и сульфитных групп в исследуемых составах. При этом снижение величины отражения в данном интервале волновых чисел в образце №4 может свидетельствовать об образовании гидрокарбоалюминатов и гидросульфокарбосиликатов (таумасит) кальция, что обуславливает повышенные показатели прочности цементного камня модифицированного АМД, ПД и шунгитом. Незначительное повышение величины отражения в интервале волновых чисел $1416\text{--}1473\text{ см}^{-1}$ в образце №3 по сравнению с составом №4 свидетельствует о положительном влиянии молотого шунгита на процессы кристаллизации гидрокарбоалюминатов и гидросульфокарбосиликатов кальция [28]. Данное наблюдение подтверждается при сравнении составов №1 и №2.

Кроме того, снижение величины отражений при значениях волновых чисел в интервале $1416\text{--}1473\text{ см}^{-1}$, характеризующих колебания свободных гидроксильных групп, в составе №4 по сравнению с составами №1–3 может свидетельствовать о более полной гидратации вяжущего с образованием гидросиликатов кальция и низкоосновных гидросульфалюминатов кальция. Данная гипотеза коррелируется с результатами ИК-спектров в интервале волновых чисел $1112\text{--}1114\text{ см}^{-1}$, характеризующих наличие соединений с сульфатными группами, входящими в состав гидросульфалюминатов кальция [29,30]. Так сравнение ИК-спектров пар образцов №1 и №2, №3 и №4 в данном интервале волновых чисел показывает снижение величины их отражений, что может свидетельствовать о формировании низкоосновных гидросульфалюминатов кальция, образующихся без увеличения в объеме. По нашему мнению это обосновывается гидравлической активностью шунгита в сочетании со способностью его частиц выступать в роли центров кристаллизации, что подтверждается ранее выполненными исследованиями.

Наличие максимума при значениях волновых чисел 900-1000 см⁻¹ характеризует наличие соединений гидросульфатоалюминатов кальция [31]. При этом более четкая разрешимость спектра с максимумом 957 см⁻¹ указывает на лучшую закристаллизованность гидросульфатоалюминатов кальция в модифицированном цементном камне составов №3 и №4 и позволяет обосновать формирование более плотной структуры камня, обуславливающее повышение его физико-технических характеристик.

Повышение физико-технических свойств цементного камня при его модификации тонкомолотым шунгитом, по нашему мнению, связано с адсорбционными свойствами его углеродной фазы, которая выступает в роли центров кристаллизации продуктов гидратации цемента, влияющих на формирование порового пространства в структуре камня, что согласуется с данными, приведенными в работе [32,33].

4. Заключение

1. Анализ отечественного объема запасов шунгитовых пород, который превышает 80 млн. тонн и суммарных прогнозных ресурсов оцениваемых на уровне 2 млрд. тонн, свидетельствует об относительной стабильности объемов его сырьевой базы и перспективности расширения применения в технологии бетонов для придания специальных свойств.

2. Изучены особенности фазового состава цементного камня, модифицированного тонкомолотым шунгитом, метакраулингом и пластифицирующей добавкой, методом ИК-спектроскопии. На основе анализа спектрограмм исследуемых составов цементного камня в характерных для него интервалах значений волновых чисел установлено, что модифицирование тонкомолотым шунгитом, метакраулингом и пластифицирующей добавкой позволяет увеличить количество гидросиликатов и низкоосновных гидросульфатоалюминатов кальция в его структуре, наличие которых обуславливает повышение показателей прочности и водостойкости модифицированного цементного камня.

3. Повышение физико-технических свойств цементного камня при его модификации тонкомолотым шунгитом, по нашему мнению, связано с его пуццолановой активностью силикатной фазы в сочетании с адсорбционными свойствами его углеродной фазы, которая выступает в роли центров кристаллизации продуктов гидратации цемента, влияющих на формирование порового пространства в структуре камня, что вызывает интерес для дальнейших исследований.

Благодарности

Работа поддержана стипендией Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-1051.2021.1).

Список библиографических ссылок

1. Шаблинский, Г.Э. Лукутцова Н. П., Пыкин А. А., Цветков К. А. Исследование динамической прочности и жесткости изделий из мелкозернистого бетона, модифицированного наноструктурным шунгитовым наполнителем // Вестник МГСУ. 2010. № 2. С. 231–236.
2. Обзор рынка шунгита в СНГ, ООО «ИГ «Инфолайн». 2020. С. 105.
3. Бужевич Г. А., Савин В. И., Евдокимов А. А. Шунгизитобетон и опыт его применения в строительстве (обзор). Москва : ЦИНИС, 1978. С. 80.
4. Рубаник В. В., Шилин А. Д., Белоус Н. Х., Родцевич С. П., Рубаник, В.В.Мл. Шилина М. В. Влияние добавок шунгита на свойства мелкозернистых пластифицированных портландцементных бетонов // В сборнике: Перспективные материалы и технологии. Материалы международного симпозиума. В 2-х частях. 2017. С. 301–303.
5. Бетонная смесь для получения термостойкого огнезащитного покрытия : пат. 2555730 Рос. Федерация. № 2014113872; заявл. 08.04.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19.
6. Попов А. В., Ветренко Т. Г. Использование шунгита для получения экологически-эффективных материалов. 2013. Р. 124–125.
7. Алоян Р. М., Акулова М. В., Ветренко Т. Г., Попов А. В. Влияние структурно-

- технологических факторов на формирование радиационных свойств строительных материалов гидратационного твердения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия Строительство и архитектура. 2013. Р. 81–86.
8. Galautdinov A., Mukhametrakhimov R., Kupriyanov V. Gypsum-Fiber Radioprotective Facing Materials // Proceedings of STCCE 2021. 2021. P. 372–381. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_40.
 9. Антонец И. В., Голубев Е. А., Шавров В. Г., Щеглов В. И. Влияние структурных параметров шунгита на его электропроводящие свойства // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. № 5. С. 1–17.
 10. Соколов В. А., Калинин Ю. К., Дюкжиев Е. Ф. Шунгиты – новое углеродистое сырье / ed. Центр П.К. науч. 1984. 184 с.
 11. Способ зимнего бетонирования : пат. 2725715 Рос. Федерация. № 2019143802; заявл. 23.12.19 ; опубл. 03.07.20, Бюл. № 19.
 12. Способ зимнего бетонирования строительных конструкций : пат. 2750772 Рос. Федерация. № 2019143803; заявл. 23.12.19 ; опубл. 02.07.21, Бюл. № 18.
 13. Способ бетонирования при отрицательных температурах : пат. 2750883 Рос. Федерация. № 2019143804; заявл. 23.12.19 ; опубл. 05.07.21, Бюл. № 19.
 14. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Garafiev A. The concrete modified by conductive mineral for electrode heating // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012124.
 15. Гарафиев А. М., Мухаметрахимов Р. Х. Исследование перколяции электрического тока в среде модифицированных цементных композитов для энергосбережения в технологии электродного прогрева // Сборник материалов II Всероссийской научной конференции, посвященной столетнему юбилею МИСИ – МГСУ «Строительное материаловедение: настоящее и будущее», г. Москва 18-19 ноября 2021. 2021. С. 109–112.
 16. Хозин В. Г., Хохряков О. В., Низамов Р. К., Кашапов Р. Р., Баишев Д. И. Опыт наномодификации цементов низкой водопотребности // Промышленное и гражданское строительство. 2018. Vol. 1. Р. 53–57.
 17. Вдовин Е. А., Хозин В. Г., Ильина О. Н., Куклин А. Н., Гиздатуллин А. Р., Шарафутдинов Б. Д. Опыт применения полимеркомпозитной арматуры при строительстве бетонных аэродромных покрытий в аэропортовом комплексе г. Казань. В сборнике: Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2013. С. 86-90
 18. Пименов С. И. Особенности структурообразования цементного камня после гидромеханохимической активации цемента // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. Vol. 54. № 2. Р. 77–88.
 19. Mavliev L., Vdovin E., Stroganov V., Kononov N. Road cement-mineral materials with granulometric and hydrophobic additives // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 141. 20–28 p. DOI: 10.1007/978-3-030-67654-4_3.
 20. Хозин В. Г., Хохряков О. В., Низамов Р. К. Карбонатные цементы низкой водопотребности - перспективные вяжущие для бетонов // Бетон и железобетон. 2020. Vol. 601. № 1. Р. 15–28.
 21. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012082.
 22. Сулейманов А. М. Актуальные задачи в прогнозировании долговечности полимерных строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. Р. 10–13.
 23. Купцов А. Х., Жижин Г. Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. Москва : Физматлит, 2001. 582 р.
 24. Каспржицкий А. С., Лазоренко Г. И., Явна В. А. Моделирование ab initio электронной структуры слоистых алюмосиликатов // Инженерный вестник Дона.

2013. № 3. Р. 11.
25. Гришина А. Н., Королев Е. В. Химический состав цементного камня, модифицированного гидросиликатами металлов // В сборнике: Современные строительные материалы и технологии. Сборник научных статей III Международной конференции. Под редакцией М.А. Дмитриевой. Калининград, 2021. С. 14–21.
26. Изотов, В.С. Мухаметрахимов Р. Х. Особенности процесса гидратации модифицированного смешанного вяжущего для фиброцементных плит // Строительные материалы. 2014. № 1–2. Р. 116.
27. Калашников В. И., Ерофеев В. Т., Мороз М. Н., Троянов И. Ю., Володин В. М., Суздальцев О. В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. 2014. № 5. Р. 88–91.
28. Лопанов А. Н., Фанина Е. А., Томаровщенко О. Н. Влияние рецептурно-технологических факторов на физико-механические характеристики мелкозернистого бетона с углеродной фазой. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 130–133 // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. Р. 130–133.
29. Урханова Л. А., Савельева М. А. Исследование микроструктуры и свойств цементного камня, модифицированного золой серы // В сборнике: Инновационные технологии в науке и образовании. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Отв. ред. Е.Р. Урмакшинова, С.Л. Буянтуев. 2017. С. 103–112.
30. Urkhanova L. A., Lkhasaranov S. A., Buyantuev S. L., Fediuk R. S., Taskin A. V. Reducing alkaline corrosion of basalt fiber in concrete // Mag. Civ. Eng. 2019. Т. 91. № 7. С. 112–120. DOI: 10.18720/MCE.91.10.
31. Иноземцев А. С., Королев Е. В. Структурообразование и свойства конструкционных высокопрочных легких бетонов с применением наномодификатора BisNanoActivus // Строительные материалы. 2014. № 1–2. С. 33–37.
32. Пыкин А. А., Лукутцова, Н.П. Костюченко Г. В. К вопросу о повышении свойств мелкозернистого бетона микро- и нанодисперсными добавками на основе шунгита // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 16–20.
33. Лукутцова Н. П., Пыкин А. А. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона. Монография. Брянск, 2013. 231 с.

Mukhametrakhimov Rustem Khanifovich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: muhametrahimov@mail.ru

Galautdinov Albert Radikovich

candidate of technical sciences, senior teacher

Email: galautdinov89@mail.ru

Potapova Lyudmila Ilyinichna

candidate of chemical sciences, associate professor

Email: ludmilapo@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Garafiev Ainur Maratovich

head of a group of expertise and experiences department

Email: garafiev93@mail.ru

“Centre of expertise and experiences in construction” LLC

The organization address: 420097, Russia, Kazan, L. Shmidt st., 35

The study of structure formation of modified cement stone containing shungite by infrared spectroscopy**Abstract**

Problem statement. One of the directions of the strategy of scientific and technological development of the Russian Federation is the development of new effective building materials with a complex of high operational and special properties. The special properties of shungite rocks determine the relevance of their use in compositions based on mineral binders to give them special properties. Without diminishing the significance of the existing research in this area, it should be noted that the problem is insufficient knowledge of the features of the processes of structure formation of cement stone modified with ground shungite in combination with mineral and chemical additives, which hinders the widespread use of shungite in concrete technology. The purpose of the research consists in the study of the special aspects of the phase constitution of cement stone modified by finely ground shungite, metakaolin and plasticizing additive by infrared spectroscopy, which could be matrix of shungite containing concrete with special properties.

Results. Based on the analysis of the spectrograms of the studied compositions of the cement stone in its characteristic intervals of wave number values, it was found that modification with finely ground shungite, metakaolin and a plasticizing additive makes it possible to increase the amount of hydrosilicates and low-basic hydrated calcium sulfoaluminates in its structure, the presence of which causes an increase in the strength and water resistance of the modified cement stone.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry consists in establishing the features of the phase composition of hydrated new formations of cement stone modified with ground shungite in a combination of active mineral and plasticizing admixtures, which can become widely used in shungite containing concrete technology during cold weather concreting.

Key words: cement stone, shungite, active mineral admixture, plasticizer, infrared spectroscopy, structure, properties.

For citation: Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Potapova L. I., Garafiev A. M. The study of structure formation of modified cement stone containing shungite by infrared spectroscopy // Izvestiya KGASU. 2021. № 4 (58). С. 70–81. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_70.

References

1. SHablinskij, G.E. Lukutcova N. P., Pykin A. A., Cvetkov K. A. The study of dynamic strength and rigidity of the products made of fine grained concrete modified by nanostructured shungite extender // Vestnik MGSU. 2010. №. 2. P. 231–236.
2. Market review of shungite in CIS, ООО "IG "Infomain". 2020. P. 105.
3. Buzhevich G. A., Savin V. I., Evdokimov A. A. Haydite concrete and the experience of its use in construction (review). M. : CISIC, 1978. P. 80.
4. Rubanik V. V., SHilin A. D., Belous N. H., Rodceovich S. P., Rubanik, V.V.Ml. SHilina M. V. The influence of shungite introduction on properties of fine grained plastified portland cement concretes // In collection: Perspective materials and technologies. Materials of international symposium. In 2 parts. 2017. P. 301–303.
5. Concrete mix for receiving heat and fire proof finish : patent 2555730 of the Rus. Federation. № 2014113872; decl. 08.04.14 ; publ. 10.07.15, Bull. in № 19.
6. Popov A. V., Vetrenko T. G. The use of shungite to get ecologically-effective materials. 2013. P. 124–125.
7. Aloyan R. M., Akulova M. V., Vetrenko T. G., Popov A. V. The influence of structured technology factors on formation of radiative properties of construction materials of hydrational hardening // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Construction and architecture. 2013. P. 81–86.
8. Galautdinov A., Mukhametrakhimov R., Kupriyanov V. Gypsum-Fiber Radioprotective Facing Materials // Proceedings of STCCE 2021. 2021. P. 372–381. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_40.
9. Antonec I. V., Golubev E. A., SHavrov V. G., SHCHeglov V. I. The influence of structural parametres of shungite on its electroconductive characteristics // ZHurnal radioelektroniki [e-journal]. 2017. No 5. P. 1–17.
10. Sokolov V. A., Kalinin YU. K., Dyukkiev E. F. Shungite – new carbonaceous feed / ed. Centr P.K. 1984. 184 p.
11. Cold weather concreting method : patent 2725715 of the Rus. Federation. № 2019143802; decl. 23.12.19 ; publ. 03.07.20, Bull. in № 19.
12. Cold weather concreting method of building constructions : patent. 2750772 of the Rus. Federation. № 2019143803; decl. 23.12.19 ; publ. 02.07.21, Bull. in № 18.
13. Concreting procedure at negative air temperatures : patent 2750883 of the Rus. Federation. № 2019143804; decl. 23.12.19 ; publ. 05.07.21, Bull. in № 19.
14. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Garafiev A. Concrete modified by conductive mineral for electrode heating // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012124.
15. Garafiev A., Mukhametrakhimov R. The study of percolation of electrical current in modified cement compositions area for conservation of energy in electrode heating tecnology // Collection of materials of II All-Russian scientific conference dedicated to centenary of MISI-MGSU "Construction material science : present and future", M., 18-19 November, 2021. P. 109-112.
16. Hozin V. G., Hohryakov O. V., Nizamov R. K., Kashapov R. R., Baishev D. I. The experience of low water demand cement nanomodification // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. Vol. 1. P. 53–57.
17. Vdovin E. A., Hozin V. G., Il'ina O. N., Kuklin A. N., Gizdatullin A. R., SHarafutdinov B. D. The experience of using of polymer-composite reinforcement in the construction of concrete aerodrome pavement in airport system, Kazan. // In collection: Innovacionnye materialy, tekhnologii i oborudovanie dlya stroitel'stva sovremennyh transportnyh sooruzhenij. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2013. P. 86–90.
18. Pimenov S.I. Special aspects of structure formation of cement stone after hydromechanical activation of cement. 2019. Vol. 54. № 2. P. 77–88.
19. Mavliev L., Vdovin E., Stroganov V., Konovalov N. Road cement-mineral materials with granulometric and hydrophobic additives // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 141. 20–28 p. DOI: 10.1007/978-3-030-67654-4_3.

20. Hozin V. G., Hohryakov O. V., Nizamov R. K. Carbonaceous low water demand cement – perspective binders for concretes // *Beton i zhelezobeton*. 2020. Vol. 601. № 1. P. 15–28.
21. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012082.
22. Sulejmanov A. M. Relevant objective in prediction of durability of polymer construction materials // *Stroitel'nye materialy*. 2015. № 5. P. 10–13.
23. Kupcov A. H., ZHizhin G. N. Fourier-FT and Fourier-IR spectra of polymers. M : Fizmatlit, 2001. 582 p.
24. Kasprzhickij A. S., Lazorenko G. I., YAvna V. A. Modelling ab initio of electronic structure of layered aluminosilicate // *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2013. № 3. P. 11.
25. Grishina A. N., Korolev E. V. Chemical composition of cement stone modified metal hydrosilicates // In collection: *Sovremennye stroitel'nye materialy i tekhnologii*. Collection of scientific articles of III International conference. Under the editorship of M.A. Dmitrieva. Kaliningrad, 2021. P. 14–21.
26. Izotov, V.S. Muhametrahimov R. H. The special aspects of hydration process of modified combined binder for fiber-cement slabs // *Stroitel'nye materialy*. 2014. № 1–2. P. 116.
27. Kalashnikov V. I., Erofeev V. T., Moroz M. N., Troyanov I. YU., Volodin V. M., Suzdal'cev O. V. Nanohydrosilicate technologies in concrete production // *Stroitel'nye materialy*. 2014. № 5. P. 88–91.
28. Lopanov A. N., Fanina E. A., Tomarovshchenko O. N. The influence of prescribed technology factors on stress-strain properties of fine grained concrete with carbonic phase // *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017. № 1. P. 130–133.
29. Urhanova L. A., Savel'eva M. A. The research of microstructure and properties of cement stone modified by sol of sulfur // In collection: *Innovation technologies in science and education. The materials of V All-Russian research and practice conference with international participation* Resp.ed.E.R. Urmakshinova, S.L. Buyantuev. 2017. P. 103–112.
30. Urkhanova L. A., Lkhasaranov S. A., Buyantuev S. L., Fediuk R. S., Taskin A. V. Reducing alkaline corrosion of basalt fiber in concrete // *Mag. Civ. Eng.* 2019. T. 91. № 7. C. 112–120. DOI: 10.18720/MCE.91.10.
31. Inozemcev A. S., Korolev E. V. Structure formation and properties of constructive high strength light concretes with the use of nanomodificator BisNanoActivus // *Stroitel'nye materialy*. 2014. № 1–2. P. 33–37.
32. Pykin A. A., Lukutcova, N.P. Kostyuchenko G. V. Improvement of properties of fine grained concrete by micro- and nanodisperse admixtures based on shungite // *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2011. № 2. P. 16–20.
33. Lukutcova N. P., Pykin A. A. Theoretical and technological aspects of getting micro- and nanodispersive admixtures based on shungite containing rocks for concrete. Monograph. Bryansk, 2013. 231 p.



УДК 697.922

Кареева Юлия Рустэмовна

кандидат технических наук, доцент

Email: jkareeva2503@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Закиева Раушан Ринатовна

Инженер-проектировщик

Email: Raushan.zakieva@gmail.com

ООО «Архитектурное бюро АБ-1»

Адрес организации: 420087, Россия, г. Казань, ул. Аделя Кутуя, д. 118

Верификация численной модели процесса истечения струи из приточного отверстия под углом

Аннотация

Постановка задачи. Одним из главных этапов проектирования систем вентиляции и кондиционирования в здании является расчет воздухораспределения в помещениях. Энергетическая и экономическая эффективность подобранных систем вентиляции и кондиционирования напрямую зависят от точности и правильности расчетов воздухораспределения в помещениях.

Изменяя угол подачи, можно обеспечить необходимые параметры микроклимата, не используя дополнительное оборудование, и тем самым оптимизировать затраты на вентиляцию и кондиционирование.

Целью работы является верификация численной модели процесса истечения воздушной струи, истекающей под углом 45 градусов к горизонту в вентилируемое помещение, и определение зависимости характеристик струи от расположения приточного отверстия за поворотом. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: провести исследование численным методом струйного течения из приточного отверстия, расположенного при разном удалении от поворота воздуховода на 45°, а также определить закономерности изменения геометрических и кинематических характеристик струи в зависимости от расстояния между поворотом воздуховода и приточным отверстием.

Результаты. В результате исследования была выбрана численная модель процессов струйного течения воздуха или воздушных масс из приточных отверстий, расположенных на разном удалении от поворота. Получено распределение давлений в сечении на истечении струи и скоростей по длине струи.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в рассмотрении возможности использования численной модели процесса истечения воздушной струи под углом при расчете воздухораспределения и повышения эффективности циркуляции воздушных масс в помещениях различного назначения.

Ключевые слова: численный метод, характеристики течения, приточный насадок, профиль скорости, вихревая зона.

Для цитирования: Кареева Ю. Р., Закиева Р. Р. Верификация численной модели процесса истечения струи из приточного отверстия под углом // Известия КГАСУ. 2021. 4 (58). С. 82-89. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_82.

1. Введение

Энергетическая и экономическая эффективность систем вентиляции и кондиционирования в здании напрямую зависят от рационального выбора схемы воздухораспределения в помещениях и выбора характеристик приточных струй. Это особенно важно в помещениях с повышенными тепловыделениями, где зачастую приточные струи направляют непосредственно в рабочую зону вблизи рабочих мест. При таком способе подачи скорость воздуха на истечении должна быть близка к нормируемой, что приводит к использованию воздухораспределителей неприемлемо больших размеров.

Для снижения скорости струи закручивают, используя завихрители разных типов (шнеки, лопаточные конструкции, закручивание с помощью тангенциального подвода воздуха). Такие устройства отличаются энергоемкостью и повышенным уровнем шума. С другой стороны, подавая воздух в рабочую зону наклонными струями и изменяя угол подачи, можно обеспечить необходимые кинематические параметры приточной струи, не используя дополнительное оборудование, и, тем самым, оптимизировать затраты на вентиляцию и кондиционирование.

Влияния геометрических и кинематических параметров приточной струи на воздухораспределение в помещениях различного назначения является актуальной проблемой и ей посвящено много работ. В работах [1-6] приводятся результаты численного эксперимента, полученного с помощью программного комплекса Ansys Fluent. Рассматривается выбор численной модели для различных случаев воздухораспределения [2-7]. Подробно исследована схема «сверху вниз» в плоской и пространственной постановке [8-13]. Авторами в статьях [14-16] проведен ряд по исследованию вихревых зон и определению коэффициента местного сопротивления (КМС) вытяжных отверстий. Выявлено, что при наличии возмущающих элементов в вентиляционной системе, образующиеся вихри закручивают поток по часовой стрелке. Это приводит к уменьшению угла подачи, отрыву потока от стенок с последующим образованием вихревых застойных областей, которые значительно уменьшают живое сечение потока и увеличивают потери давления в подающем элементе.

В работе [17] представлены результаты исследования характеристик струи, формируемой приточным отверстием после поворота воздуховода на 90 градусов. Были получены геометрические и кинематические характеристики струи в зависимости от удаления от поворота и геометрии приточного отверстия. Полученные результаты показывают, что в реальных ситуациях условия подтекания к воздухораспределителю и неравномерность поля скорости существенно влияют на характеристики струи и зачастую сложно получить струю с ожидаемыми характеристиками. Кроме того, значение кинематического коэффициента для многих геометрически сложных воздухораспределителей не является константой по длине основного участка струи [2], поэтому возникает необходимость учитывать неравномерность профилей скоростей в струях, которые формируются при истечении из патрубков с различной геометрией и направлением выхода струи. Например, при ограниченном пространстве в помещении воздух в рабочую зону бывает необходимо подавать под углами, отличными от прямого.

Целью работы является верификация численной модели процесса истечения воздушной струи, истекающей под углом 45 градусов к горизонту в вентилируемое помещение, и определение зависимости характеристик струи от расположения приточного отверстия за поворотом. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- провести численным методом исследование струйного течения из приточного отверстия, расположенного при разном удалении от поворота воздуховода на 45°;
- определить закономерности изменения геометрических и кинематических характеристик струи в зависимости от расстояния между поворотом воздуховода и приточным отверстием.

2. Материалы и методы.

Рассматривается задача истечения струи из приточного щелевого отверстия, расположенного на расстоянии l за косым коленом под углом в 45° к горизонту.

В препроцессоре Gambit по заданным координатам создана геометрия исследуемой области (рис. 1). Во всех численных экспериментах было принято: течение воздуха происходит по воздуховоду постоянного сечения, равного 0.2 м со скоростью на границе АВ $u_0 = 3$ м/с. Расстояние от поворота до плоскости истечения варьировалось от 0,1 до 0,4 м. Задача рассматривается в изотермической постановке, плотность воздуха принималась постоянной $\rho = 1,225$ кг/м³.

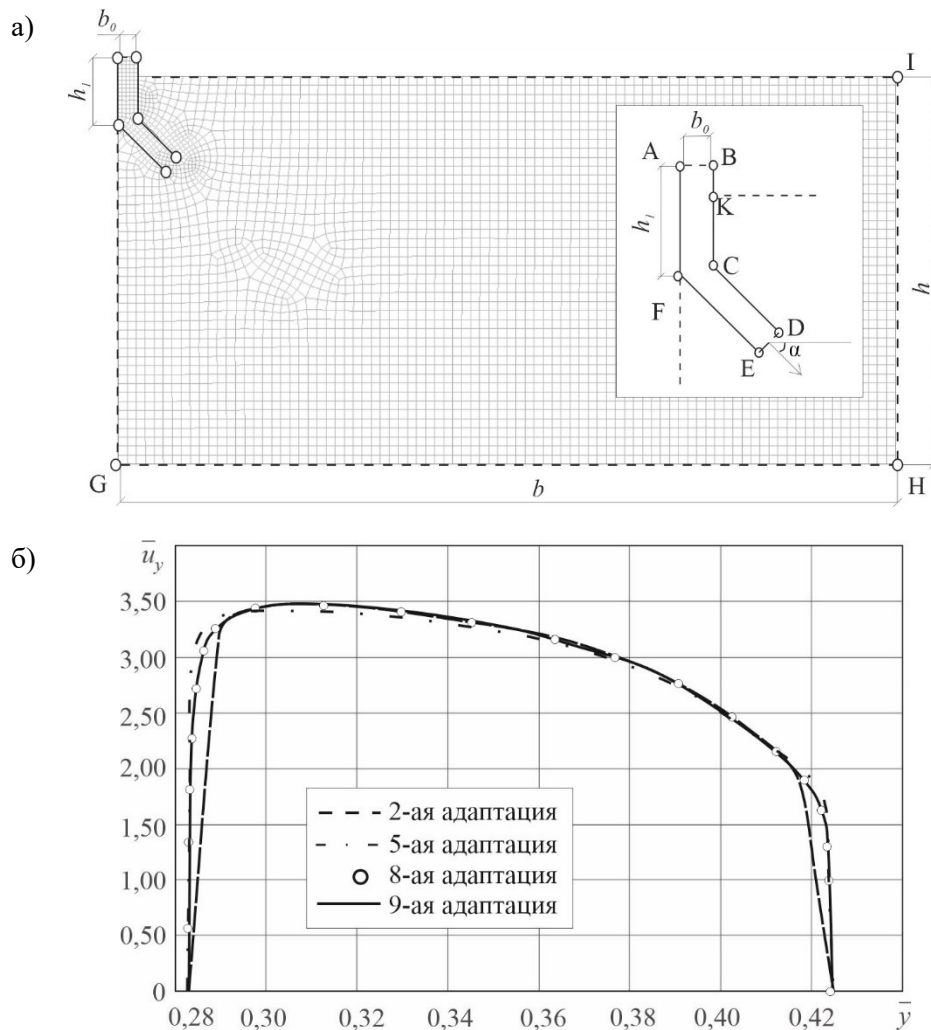


Рис. 1. – Характеристики задачи: а) геометрия расчетной области и расчетная сетка; б) сеточная зависимость при $l = 0,1$ (иллюстрации авторов)

Граничные условия, принятые в задаче:

- на AB (подача воздуха) – Velocity inlet: скорость постоянная и направлена по нормали к границе: $u_0 = \text{const}$; $k=0$; $\varepsilon=0$;
- на FG, GH, HI, IK (свободная граница) – Pressure Outlet: избыточное давление $\Delta p=0$; скорость направлена по нормали к границе - $\bar{u} = u_n$, $dk/dn=0$, $d\varepsilon/dn=0$;
- на AF, FE, BC и CD (непроницаемые стенки) Wall: $u = 0$, $du_n/dn=0$; (dn - нормаль к границе).

При расчете течений в двухмерной версии программы *Fluent* используется стандартная *k-epsilon* модель турбулентности со стандартными пристеночными функциями – Standard Wall Functions (SWF).

Для получения более точного решения необходимо было измельчить сетку таким образом, чтобы величина ячеек не оказывала влияние на исследуемые характеристики. На рис. 1б приведен график сеточной зависимости, где $\bar{u}_y = u_y / u_0$, $\bar{y} = y / b_0$. Измельчение сетки было выполнено 4 раза по всей области, затем - только вдоль твердых границ. На графике показано, как изменяется продольная компонента скорости в задачах с разными размерами ячеек сетки. Можно видеть, как влияет величина сетки на получаемые данные. Добившись того, что сетка перестала влиять на результаты, был получен минимальный размер ячеек $2,67 \cdot 10^{-8}$. Во всех задачах выбиралась такая же мелкость сетки.

В результате численного решения были получены основные геометрические и кинематические характеристики струи, истекающей из отверстия, расположенного за поворотом на 45 градусов.

3. Результаты и обсуждения

На рисунках 2 представлены линии тока течения, полученные в результате численных расчетов.

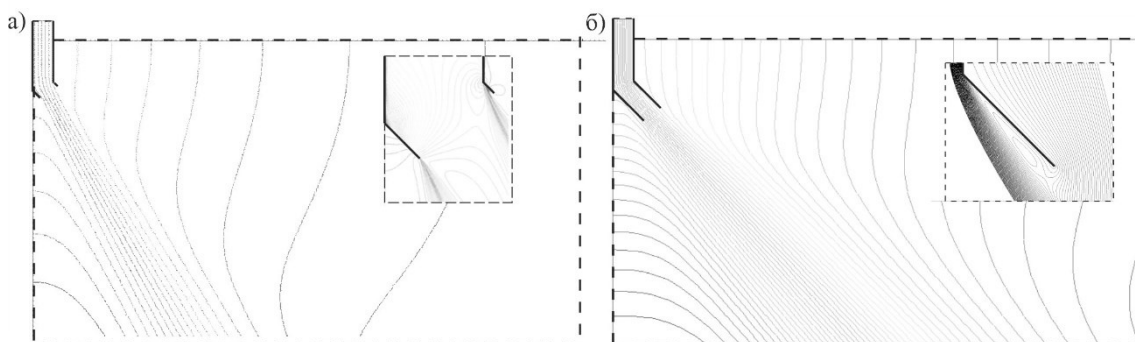


Рис. 2. – Линии тока при длине приточного патрубка: а) 0,1 м, б) 0,4 м.
(иллюстрации авторов)

В первом случае (рис. 2а) приточное отверстие находится максимально близко к повороту на расстоянии $\bar{l} = 0,1$ м. На рис. 2б это расстояние значительно больше, и составляет $\bar{l} = 0,4$. Картины течения свидетельствуют о том, что при небольшом удалении места истечения от поворота за ним образуется вихревая зона, которая поджимает струю и истечение происходит под некоторым углом к горизонту. По мере удаления приточного отверстия от поворота ($\bar{l} > 0,2$) истекающая струя начинает выравниваться по оси патрубка, угол истечения стремится к нулю.

Кроме того, на рис. 2 в укрупненном масштабе показаны зоны вихрей, образующиеся после поворота. Из рисунка видно, что при минимальном значении $\bar{l}$ происходит подтекание воздуха из окружающего пространства, вследствие чего уменьшается живое сечение струи на истечении. При большой длине $\bar{l}$ подтекания извне не происходит.

На рис. 3 представлены безразмерные профили статического давления $\bar{P}_{st} = \frac{P_{st}}{(\rho v^2 / 2)}$

на истечении в зависимости от безразмерного параметра $\bar{y}$.

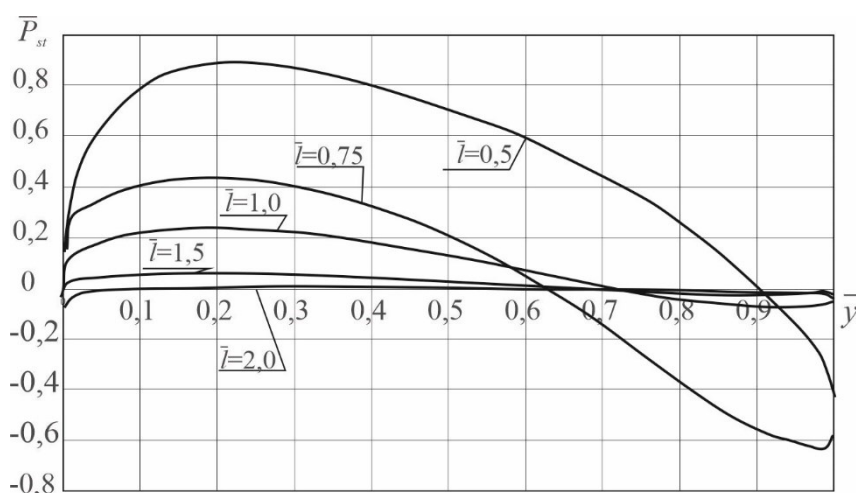


Рис. 3. – Профили статического давления $\bar{P}_{st}$ в струе при разных $\bar{l}$ (иллюстрации авторов)

Анализ графика показывает, что за поворотом на 45 градусов в пределах патрубка образуются критические зоны, где давление у стенок достигает отрицательных значений. За счёт этого происходит подсасывание воздуха из окружающего пространства на выходе из приточного отверстия, что приводит к образованию вихрей.

Ранее в работе [18] были представлены графики изменения скорости струи в сечении на истечении из приточного отверстия, расположенного после поворота 45° . На рис. 4 показан график изменения безразмерной средней скорости на оси струи $\bar{u}_m$ при удалении от поворота $\bar{l} = 0,75$, полученный в результате численных экспериментов. Для верификации численной модели процесса струйного течения на график нанесены результаты расчета, полученные по формуле:

$$u_m = \frac{tu_o \sqrt{b_0}}{\sqrt{\eta}}, \quad (1)$$

где $\eta = x \cdot \cos \alpha$ – безразмерное расстояние от центра истечения по оси струи.

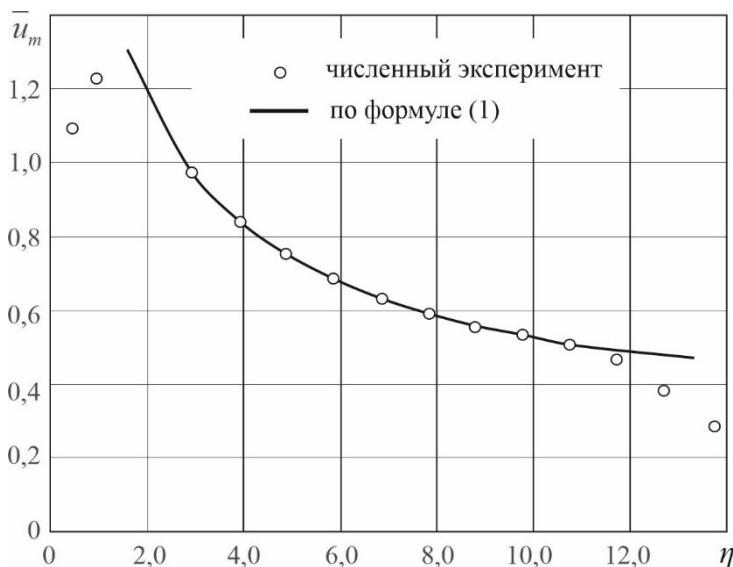


Рис. 4. – Средняя скорость на оси струи при длине патрубка $\bar{l} = 0,75$ (иллюстрации авторов)

Численное исследование показывает, что расстояние до истечения влияет на деформацию струи в обратной зависимости. Так, при истечении из выходного отверстия под углом 45° , но при малой длине патрубка $\bar{l} = 0,5$ м, струя сильно деформируется и приобретает угол в 58° . Это происходит из-за образования вихрей пониженной и повышенной скорости в углах выходного отверстия, что отрицательно сказывается на площади, охватываемой воздухораспределителем, и снижает эффективность установки.

Установлено, что при угле истечения 45 градусов оптимальной является длина патрубка $\bar{l} = 1,0$ м. Это связано с тем, что струя при такой длине патрубка практически не меняет своего направления, а влияние вихрей в патрубке практически отсутствует. Струя из выходного отверстия воздухораспределителя выпрямляется и поступает в помещение без существенного изменения направления скорости.

Дальнейшее исследование будет направлено на нахождение оптимального угла воздухораспределителя, на изучение влияния встречных потоков, на выявление наиболее экономически выгодной и эффективной установки воздухораспределителей с учетом всех влияющих факторов.

4. Заключение

Выполнена верификация численной модели процесса истечения струи из приточного отверстия, расположенного за поворотом, подобраны граничные условия, модель турбулентности, геометрия и сетка исследуемой области. Установлено, что выбранная численная модель процесса может быть использована для дальнейшего исследования на нахождение оптимального угла воздухораспределителя.

Выявлены закономерности течения при разном удалении приточного отверстия от поворота на 45 градусов, которые обусловлены наличием отрицательного статического давления у стенок и сильной деформацией струи при небольшом удалении места истечения от поворота.

По полученным геометрическим и кинематическим характеристикам струи определена оптимальная длина патрубка, при котором увеличивается зона, обслуживаемая воздушным потоком, и повышается эффективность циркуляции воздушных масс в помещениях различного назначения.

Список библиографических ссылок

1. Shopayeva A., Safiullin R. CFD-modeling of flow in confluence nodes of ventilation units of multi-storey buildings: dig. of art. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2020). DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012157.
2. Kocharyants, K.V.: Numerical simulation of air distribution by fair overlaying jets. Selection of turbulence model. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2016. – № 4(57). – P. 128-133.
3. Naumov A.L., Kapko D.V., Brodach M.M. Ventilation systems with local recirculation diffusers // Energy Build. 85.2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.050>.
4. Ivanov N.G., Zasimova M.A. Large eddy simulation of airflow in a test ventilated room // J.Phys. Conf. Ser. 1038, 12136. 2018.
5. Zasimova M.A., Ivanov N.G., Markov D. Numerical modeling of air distribution in a test room with 2D sidewall JET. I. Foundations for eddy-resolving approach application based on periodical formulation. // St. Petersburg. State Polytech. Univ. J. Phys. Math. 13. 2020. DOI: 10.18721/JPM.13305.
6. Zasimova M.A., Ivanov N.G., Markov D: Numerical modeling of air distribution in a test room with 2D Sidewall JET. II. LES-computations for the room with finite width. // St. Petersburg. State Polytech. Univ. J. Phys. Math. 13 (2020). DOI: 10.18721/JPM.13306.
7. Ricci A., Kalkman I., Blocken B., Burlando M., Repetto M.P. Impact of turbulence models and roughness height in 3D steady RANS simulations of wind flow in an urban environment. // Build. Environ. 171. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106617>
8. Nguyen Ch.K., David D., Kuznik Fr. Full-scale experimental study of ceiling turbulent air jets in mechanically ventilated rooms. 2017.
9. Xie H., Zhang S., Guan X. Shanghai Ligong Daxue Xuebao // J.Univ. Shanghai Sci. Technol. 39, 81. 2017. DOI: 10.13255/j.cnki.jusst.2017.01.014.
10. Teodosiu C., Ilie V., Teodosiu R. Appropriate CFD turbulence model for improving indoor air quality of ventilated spaces. // Math. Model. Civil Eng. 10, 28. 2015. DOI: 10.2478/mmce-2014-0020.
11. Mularski J., Arora A., Saeed M.A., Nied'zwiecki Ł., Saeidi S. Impact of turbulence models on the air flow in a confined rectangular space. // Eng. Sci. Technol. 2020. DOI: 10.37256/est.212021627.
12. Teodosiu R., Niculița L., Teodosiu C. Computational fluid dynamics based modeling of a linear heat source. // Environ. Eng. Manag. J. 13. 2014. DOI: 10.30638/eemj.2014.216.
13. Tabunshchikov Y.A., Shkarpet V.E., Kapko D.V., Brodach M.M., Kochariants K.V. Installing local recirculation air diffusers during building deep renovation reduces energy consumption of ventilation systems. // Energy Procedia. 2016. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.149.
14. Ziganshin A.M., Batrova K.E., Logachev K.I., Mingazeeva D.N. Numerical modelling of energy efficient exhaust orifices and hoods in ventilation and air conditioning systems in buildings and facilities of thermal power plants: dig. of art. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. (2019). DOI: 10.1088/1755-1315/288/1/012134.
15. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Averkova O.A., Gol'tsov A.B. Reducing power consumption of local exhaust ventilation systems. // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1683/4/042015.

16. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Averkova O.A., Logachev A.K. A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods. // *Energy Build.* 173. 2018. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.05.036.
17. Kareeva J., Bliznyakova K., Ashadullina D., Zakieva R.: Influence of geometrical parameters of air inlet hole on the kinematic characteristics of jet: dig. of art. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012164.
18. Kareeva, J., Bliznyakova, K., Zakieva, R.: Numerical Study of the Influence of the Inlet Geometric Parameters on the Jet Characteristics: dig. of art. STCCE 2021, LNCE 169, pp. 364–371, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_39.

Kareeva Juliya Rustemovna

candidate of technical sciences, associate professor

Email: jkareeva2503@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Zakieva Raushan Rinatovna

engineer-designer

Email: Raushan.zakieva@gmail.com

ООО «Architectural Bureau AB-1»

The organization address: 420087, Russia, Kazan, Adel Kutuya st., 118

Verification of the numerical model of the process of jet outflow from the inlet at an angle**Abstract**

Problem statement. One of the main stages in the design of ventilation and air conditioning systems in a building is the calculation of air distribution in the premises. The energy and economic efficiency of the selected ventilation and air conditioning systems directly depend on the accuracy and correctness of calculations of air distribution in the premises.

By changing the feed angle, it is possible to provide the necessary microclimate parameters without using additional equipment, and thereby optimize the costs of ventilation and air conditioning.

The aim of the work is to verify the numerical model of the process of the outflow of an air stream flowing out at an angle of 45 degrees to the horizon into a ventilated room, and to determine the dependence of the characteristics of the stream on the location of the inlet behind the bend. To achieve this goal, the following tasks have been identified: to carry out a numerical study of the jet flow from the inlet, located at different distances from the rotation of the air duct by 45 degrees, and also to determine the patterns of change in the geometric and kinematic characteristics of the jet depending on the distance between the rotation of the air duct and the inlet.

Results. As a result of the study, a numerical model was chosen for the processes of the jet flow of air or air masses from the supply openings located at different distances from the bend. The distribution of pressures in the section at the outflow of the jet and velocities along the length of the jet is obtained.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to consider the possibility of using a numerical model of the process of the outflow of an air jet at an angle when calculating air distribution and increasing the efficiency of air circulation in rooms for various purposes.

Keywords: numerical methods, flow characteristics, velocity profile, vortex zone, computational fluid dynamics.

For citation: Kareeva J. R., Zakieva R. R. Verification of the numerical model of the process of jet outflow from the inlet at an angle // *Izvestija KGASU.* 2021. 4 (58). P. 82-89. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_82.

References

1. Shopayeva A., Safiullin R. CFD-modeling of flow in confluence nodes of ventilation units of multi-storey buildings: dig. of art. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2020). DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012157.
2. Kocharyants, K.V.: Numerical simulation of air distribution by fair overlaying jets. Selection of turbulence model. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2016. – № 4(57). – P. 128-133.
3. Naumov A.L., Kapko D.V., Brodach M.M. Ventilation systems with local recirculation diffusers // Energy Build. 85.2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.050>.
4. Ivanov N.G., Zasimova M.A. Large eddy simulation of airflow in a test ventilated room // J.Phys. Conf. Ser. 1038, 12136. 2018.
5. Zasimova M.A., Ivanov N.G., Markov D. Numerical modeling of air distribution in a test room with 2D sidewall JET. I. Foundations for eddy-resolving approach application based on periodical formulation. // St. Petersburg. State Polytech. Univ. J. Phys. Math. 13. 2020. DOI: 10.18721/JPM.13305.
6. Zasimova M.A., Ivanov N.G., Markov D: Numerical modeling of air distribution in a test room with 2D Sidewall JET. II. LES-computations for the room with finite width. // St. Petersburg. State Polytech. Univ. J. Phys. Math. 13 (2020). DOI: 10.18721/JPM.13306.
7. Ricci A., Kalkman I., Blocken B., Burlando M., Repetto M.P. Impact of turbulence models and roughness height in 3D steady RANS simulations of wind flow in an urban environment. // Build. Environ. 171. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106617>
8. Nguyen Ch.K., David D., Kuznik Fr. Full-scale experimental study of ceiling turbulent air jets in mechanically ventilated rooms. 2017.
9. Xie H., Zhang S., Guan X. Shanghai Ligong Daxue Xuebao // J.Univ. Shanghai Sci. Technol. 39, 81. 2017. DOI: 10.13255/j.cnki.jusst.2017.01.014.
10. Teodosiu C., Ilie V., Teodosiu R. Appropriate CFD turbulence model for improving indoor air quality of ventilated spaces. // Math. Model. Civil Eng. 10, 28. 2015. DOI: 10.2478/mmce-2014-0020.
11. Mularski J., Arora A., Saeed M.A., Nied'zwiecki Ł., Saeidi S. Impact of turbulence models on the air flow in a confined rectangular space. // Eng. Sci. Technol. 2020. DOI: 10.37256/est.212021627.
12. Teodosiu R., Niculița L., Teodosiu C. Computational fluid dynamics based modeling of a linear heat source. // Environ. Eng. Manag. J. 13. 2014. DOI: 10.30638/eemj.2014.216.
13. Tabunshchikov Y.A., Shkarpet V.E., Kapko D.V., Brodach M.M., Kochariants K.V. Installing local recirculation air diffusers during building deep renovation reduces energy consumption of ventilation systems. // Energy Procedia. 2016. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.149.
14. Ziganshin A.M., Batrova K.E., Logachev K.I., Mingazeeva D.N. Numerical modelling of energy efficient exhaust orifices and hoods in ventilation and air conditioning systems in buildings and facilities of thermal power plants: dig. of art. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. (2019). DOI: 10.1088/1755-1315/288/1/012134.
15. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Averkova O.A., Gol'tsov A.B. Reducing power consumption of local exhaust ventilation systems. // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1683/4/042015.
16. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Averkova O.A., Logachev A.K. A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods. // Energy Build. 173. 2018. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.05.036.
17. Kareeva J., Bliznyakova K., Ashadullina D., Zakieva R.: Influence of geometrical parameters of air inlet hole on the kinematic characteristics of jet: dig. of art. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012164.
18. Kareeva, J., Bliznyakova, K., Zakieva, R.: Numerical Study of the Influence of the Inlet Geometric Parameters on the Jet Characteristics: dig. of art. STCCE 2021, LNCE 169, pp. 364–371, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_39.



УДК 711.25 (911.6)

Балтусова Олеся Александровна

помощник Президента РТ

Email: o.baltusova@tatar.ru

Аппарат Президента РТ

Адрес организации: 420014, РТ, г. Казань, Кремль

Дембич Александр Алексеевич

кандидат архитектуры

Email: interra.kgasu@mail.ru

Муталлапова Гульнара Азатовна

ассистент

Email: mutallapova_g@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Трансформация управленческих задач в ходе реализации градостроительного развития территории (на примере концепции развития г. Чистополь)

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования - формирование концепции, сохранение и развитие исторической части г.Чистополь. В соответствии с решением Правительства Татарстана о необходимости разработки концепции развития исторических поселений Татарстана в КГАСУ создан временный творческий коллектив для подготовки подобной концепции для г. Чистополь.

Задачей исследования является преобразование системы занятости населения и опережающее развитие видов деятельности, направленной на поддержание туристической привлекательности Чистополя: - приспособление и реконструкция квартальной застройки к современным требованиям комфортного жилища, объектов туристического обслуживания и объектов предназначенных для возрождения традиционных видов производственной деятельности. Обустройство Камской Набережной и системы внутриквартальных и уличных общественных пространств.

В настоящее время коллектив, проанализировав ситуацию, подготовил концептуальное предложение по градостроительному развитию города, включая дорожную карту мероприятий. Данное предложение опирается на кадровые, историко-градостроительные и экономические ресурсы территории.

Результаты. В организационном плане предложено сделать упор на возрождение исторически традиционных для Чистополя видов занятости – кузнечное и швейное дело, зерновое и хлебопекарное производство.

В градостроительном плане началась разработка предложений по образцово-показательной реконструкции депрессивной квартальной застройки, позволяющих заметно повысить ее плотностные характеристики, сформировать благоустроенную жилую среду, приостановить отток молодежи из Чистополя в крупные города РФ.

Выводы. Предлагаемые в концепции решения позволяют существенно осовременить и модернизировать систему управления городским развитием, активизировать жизненный цикл города, сформировать целевую программу градостроительной реконструкции и нового строительства, привлечь дополнительные инвестиции для долгосрочного развития, заметно разнообразить повседневную занятость населения.

Ключевые слова: Градостроительное развитие, дорожная карта, реконструкция кварталов, городское оборудование, швейное производство, туристическая привлекательность, муниципальное управление.

Для цитирования: Балтусова О. А., Дембич А. А., Муталлапова Г. А. Трансформация управленческих задач в ходе реализации градостроительного развития территории (на примере концепции развития г. Чистополь) // Известия КГАСУ. 2021. 4 (58). С. 90-96. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_90.

1. Введение

Целью данной работы является формирование концепции сохранения и развитие исторической части г.Чистополь. В соответствии с решением Правительства Татарстана¹ подготовить концепцию градостроительного развития городов, включенных в республиканский перечень исторических поселений, в КГАСУ на базе кафедр ИАиД,² был создан временный творческий коллектив для разработки концепции сохранения и развития архитектурно-пространственной идентичности городской среды г. Чистополь. Акцент на сохранение идентичности здесь сделан не случайно. Этот вопрос сегодня особенно актуален именно для городов России, переживших в последней трети XX века глобальную экспансию массового жилищного строительства, которая привела, во многих случаях, к обезличиванию и критической гомогенности архитектурной среды города.

На это специально обратил внимание и В.В. Путин в своем ежегодном Послании Федеральному Собранию в январе 2020 г. – «Нам нужно создать современную среду для жизни, преобразить наши города и поселки. При этом важно, чтобы они сохранили свое лицо и историческое наследие. У нас уже есть успешный опыт обновления городской среды и инфраструктуры» [1], кроме того, необходимость такой работы вызвана тем, что несмотря на наличие довольно обширного комплекса проектной градостроительной документации, подготовленной для городов и сел Татарстана в соответствии с требованиями Градостроительного кодекса РФ, вопросы планировки и застройки исторической части Чистополя решались недостаточно эффективно, а часто и вопреки утвержденным проектным градостроительным документам, а иногда и с заметным ущербом для архитектурного наследия.

В этом наглядно проявилась характерное, в целом для российской градостроительной практики, отсутствие «дорожной карты» реализации градостроительных задач [2], наличие которой необходимо, как для Стратегии социально-экономического развития территории [3], предусмотренной федеральным законодательством («Закон о стратегическом планировании в РФ №172 – ФЗ»), так и в основанных, на материалах этой стратегии, проектных документах – Генеральном плане поселения, проектах планировки территорий (ППТ).

Сказывается на этой ситуации и слабая компетентность муниципального управления в градостроительных вопросах – отсутствие в составе муниципальных органов необходимых квалифицированных специалистов и их недостаточный управленческий статус, предусмотренный для специалистов такого рода.

Основными задачами, которые необходимо было решить в ходе подготовки концепции развития территории, являлись: - преобразование системы занятости населения и опережающее развитие видов деятельности, направленной на поддержание туристической привлекательности Чистополя; - приспособление и реконструкция квартальной застройки к современным требованиям комфортного жилища, объектов туристического обслуживания и объектов предназначенных для возрождения традиционных видов производственной деятельности; - обустройство Камской Набережной и системы внутриквартальных и уличных общественных пространств.[4]

2. Материалы и методы

Приступив к работе и проведя необходимое предварительное обследование территории Чистополя, а также структуры социально-экономической жизнедеятельности городского сообщества, специалисты КГАСУ выстроили обобщенную картину комплексного городского развития и дорожную карту функционально-пространственной трансформации исторических территорий города.

¹ Постановление Кабинета Министров РТ от 26 марта 2015 года N 188 «ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПЕРЕЧНЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО (РЕСПУБЛИКАНСКОГО) ЗНАЧЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН»

² Кафедра градостроительства и планировки сельских населенных мест;
Кафедра реконструкции и реставрации объектов архитектурного наследия.

В качестве базовой основы предположений использовалась методика разработки концепции устойчивого развития г. Казани, в подготовке которой также участвовали специалисты КГАСУ. Данная методика рассматривает территорию, дифференцируя ее на отдельные составляющие - от историко-природного ландшафта до эволюции процессов занятости населения за определенный исторический период.

Концепция устойчивого развития Казани, утверждённая в 2020 году, предусматривает несколько направлений реализации, среди которых: сохранение исторического ландшафта, формирование пространственных конвертов застройки, нематериальное наследие. Методика разработки применяется в других исторических поселениях, в том числе и в городе Чистополь.

В предлагаемой для Чистополя концепции, кроме решения задач архитектурно-градостроительной реконструкции, особое внимание уделяется социально-экономическим вопросам.

Остро стоит задача расширения сферы занятости в городе для различных групп населения, используя для этого возрастающий туристический потенциал города [5].

Учитывая реальные экономические и кадровые возможности муниципалитета и особенности правового поля страны и экономики Татарстана, предлагается стратегия поэтапного развития территории с опорой на уже имеющиеся ресурсы Чистополя [6].

3. Результаты

Анализ истории развития города, сегодняшнего состояния его архитектурной среды и хозяйственно-экономической деятельности, позволил выделить в качестве наиболее значимых градообразующих факторов наличие и работу часового завода «Восток» и постепенно возрастающую туристическую привлекательность Чистополя, обусловленную прекрасно сохранившейся архитектурной средой 19-го века и планировкой города, сформированной согласно утвержденному Екатериной Второй генеральному плану 1781 года. Эта сегодняшняя туристическая привлекательность легла в основу предлагаемой коллективом КГАСУ стратегии, сосредоточившей внимание на обустройстве существующей городской среды средствами городского дизайна и локальной градостроительной реконструкции системы городских кварталов исторической части [7]. Согласно этому предложению, принципиально важно обратить внимание на пустующие территории внутри многих городских кварталов и показать руководству Чистополя и городскому сообществу примеры решения подобной проблемы в исторической части Казани.

Было необходимо «раскрыть» перед местными муниципальными менеджерами уже известные примеры стратегических успехов, транслируя свои предложения, по Чистополю как возможность адаптировать подобные примеры к местным условиям – «... люди более восприимчивы к новым идеям, которые раздвигают границы их представлений, чем к тем, которые вступают в противоречия с ними... Местные менеджеры придут на совещание со своими устоявшимися взглядами, но когда Вы выносите предложения, которые раздвигают (а не нарушают) границы представлений участников, появляется хороший шанс «завязать» отношения, заложив прочный фундамент для стратегических решений» [8].

Для обеспечения инструментария городского дизайна в стратегии КГАСУ было предложено воссоздать в производственной среде города, в рамках частно-муниципального партнерства, специальную коммерческую организацию – «кузнечные мастерские», как некую реминисценцию ранее существующего в Чистополе производства. Мастерские должны быть нацелены на производство различных видов городского оборудования, изготовленных из металла и стилистически увязанного с исторической архитектурной городской средой 19-го века – ворота, ограды, навесы входных узлов, скамейки, осветительные устройства и т.д. Подобная продукция может быть востребована не только при обустройстве Чистополя, но и способна найти применение в Казани, Елабуге, Буинске, Зеленодольске и других населенных пунктах Татарстана, имеющих значительные фрагменты исторической застройки [9].

Целесообразно подобную организацию создать в тесном контакте с действующим в Чистополе многопрофильным колледжем, сформировав в стенах колледжа подготовку

необходимых специалистов данного профиля, включая дизайнеров городского оборудования.

В рамках этого же предложения в стратегии КГАСУ намечена архитектурно-градостроительная реорганизация части кварталов исторической части города, имеющих сегодня пространственные ресурсы для их функциональной специализации – «торговый квартал», «ремесленный квартал», «квартал искусств», «гостиничный квартал» и т.д.

Сосредоточив в каждом из этих кварталов специфические функции, появляется возможность существенно усилить туристическую привлекательность города, обеспечить более многочисленный и равномерный поток туристов в течение всего года, а также заметно разнообразить виды занятости трудоспособного населения Чистополя [10].

Есть еще две производственные отрасли, развитие которых позволит создать новые рабочие места и которые адресно нацелены на поддержку туризма. Первая – швейное производство. Швейное производство должно быть ориентировано на производство малых партий швейных изделий сувенирно-подарочного характера на основе подготовленного дизайнерами местного брендбука³ – это тканевые сумки, летние головные уборы (бейсболки и панамы), шарфы, а в перспективе это могут быть и мужские рубашки, жилетки и сарафаны. В качестве характера текстильного дизайна предлагается использовать приемы «лоскутного шитья»,⁴ не очень трудоемкие в исполнении, но сегодня мало распространенные, что позволит придать этим изделиям заметный эффект новизны и сформировать самостоятельный, не занятый в настоящее время, рыночный сектор. Немаловажным фактором является и то, что сегодня в Чистополе есть несколько швей, активно увлекающихся именно лоскутным шитьем в качестве хобби.

Второй вид производства – это гастрономия, сосредоточенная на выпуске кондитерский и хлебобулочных изделий. В первую очередь это продиктовано исторической традицией Чистополя, как одного из важнейших центров зернового и мукомольного производства 19-го века в Волжско-Камском бассейне.⁵ Разнообразные хлебобулочные и кондитерские изделия, которые могут быть изготовлены на базе Чистопольского хлебозавода, расфасованные при этом в подарочную упаковку с хорошим дизайном, способны стать товаром повышенного спроса как среди туристов, так и экспортным продуктом в другие города Татарстана и России [11].

Если кузнечные мастерские способны создать новые рабочие места для мужского труда, важным фактором швейной и гастрономической отрасли занятости является их нацеленность, на появление рабочих мест по большей части, для женского труда.

4. Обсуждение

Процесс градостроительного развития и реорганизации территории не ограничивается только архитектурно-планировочными мероприятиями [12]. Возникает необходимость реорганизации управленческой системы муниципалитета и постоянное содействие республиканских органов управления, трансформации структуры экономики района и «встроенности» предлагаемых производственно-экономических инноваций в общий производственно-экономический цикл Татарстана [13].

Потребуется проведение ряда специальных сессий и семинаров, с целью проработки каждого направления создаваемой концепции развития исторического поселения. Так как Чистополь является историческим поселением федерального значения, потребуется согласование отдельного списка документации с Министерством культуры Российской Федерации: предмет охраны исторического поселения, требования к градостроительным регламентам, проект зон охраны.

Проблема развития исторического города заключается также в том, что Постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 15 января 2016 г. N 13 утверждены границы исторического поселения г. Чистополь, однако перечень ценных градоформирующих объектов не утвержден, десятки зданий включены в Программу

³ Брендбук –официально утвержденный бренд территории (компании) со своими атрибутами для построения коммуникации с потребителем

ликвидации аварийного жилья, подлежат отселению и сносу. Однако данные объекты по своим характеристикам являются ценными объектами среды и выявленными памятниками. В городах Российской Федерации есть примеры, когда после расселения дома передавали инвестору под реконструкцию (г. Иркутск). Соответственно, необходимо проработать дорожную карту по сохранению среды и передаче объектов инвесторам во избежание уничтожения ценой исторической среды Чистополя [14-16].

5. Заключение

1. Решение стратегических задач по развитию города во многом зависит от кадрового состава муниципального руководства. Остро необходимы специалисты как градостроительного профиля, так и организаторы инновационных направлений в бизнесе.

2. Среди решаемых проблемных задач, важное место занимает подготовка технического задания на проектную градостроительную документацию, отображающего специфические требования к планировке и застройке города, имеющего высокий потенциал историко-культурного наследия.

3. Реализация данной стратегии развития города невозможна без системной поддержки республиканского и муниципального руководства. Это потребует, особенно на первом этапе (ориентировочно 2-3 года), выделения специального уполномоченного лица, по типу омбудсмена в системе муниципального управления. Вероятнее всего, это должна быть должность в статусе заместителя руководителя исполкома. Этому специалисту придется решать много нестандартных управленческих задач, что потребует его дополнительной подготовки.

4. Опыт кафедры градостроительства КГАСУ, неоднократно принимающей участие в проведении курсов повышения квалификации муниципальных работников показал, что сегодняшний опыт краткосрочных курсов такого рода практически не дает реального результата. Только достаточно долгосрочная учеба – от нескольких месяцев до полугода (от 60 до 90 аудиторных часов), с защитой выпускной квалификационной работы, объединяющей проблемы городской экономики, организации бизнеса и градостроительства, способна заметно повысить квалификационный уровень сотрудников в области современной градорегулирующей деятельности.

5. Предшествующий опыт реализации градостроительных разработок Кафедры Градостроительства КГАСУ показал, что без тесного взаимодействия проектной организации, местной администрации и активистов городского сообщества, в ходе реализации уже согласованных и утвержденных бизнес-планов и градостроительных проектов, практически невозможно добиться ожидаемого результата. Именно поэтому предлагается трансформировать систему привычных штатных обязанностей сотрудников исполнительного комитета Чистополя, введя в структуре муниципалитета, хотя бы временно, должность, полномочий которой хватает для полноценной, как по срокам, так и по содержанию, реализации подготовленных и утвержденных проектных и организационных решений.

Список библиографических ссылок

1. Послание Президента РФ В. В. Путина Федеральному Собранию. Январь, 2020.
2. Рингланд Джил. Сценарное Планирование для разработки бизнес-стратегии. М. : ООО «И.Д.Вильямс», 2008. 560 с.
3. Гапоненко А.П., Панкрухин. Стратегическое Управление. М. : Омега-Л, 2008 г. 464 с.
4. Исмагилова Р. А. Чистаево/ Родной Чистополь: историко-публицистические очерки. Т.1. Казань, Идель-Пресс, 2009. 464 стр. Т.2. Казань, Идель-Пресс, 2013. 504 с.
5. Dehejia R. H., Wood B. Economic sanctions and econometric policy evaluation: A cautionary note // Journal of World Trade. 1992. Vol. 26. P. 73–84.
6. Эртель К., Соломон Л. К. Стратегическая сессия: как обеспечить появление прорывных идей и нестандартное решение проблем. М. : Альпина Паблишер, 2019 г. 248 с.

7. Котлер Ф., Асплунд К. и др. Маркетинг мест. Санкт-Петербург : Стокгольмская школа экономики, 2005 г. 376 с.
8. Степанова Г. Р. Лоскутное шитье. М. : АСТ, 2018 г. 128 с.
9. Крушев В., Морган Т. Прекращение экономического принуждения: внутренняя политика и международные переговоры // Управление конфликтами и наука о мире. 2011. Т. 28. С. 351–376.
10. Galtung J. On the Effects of International Economic Sanctions. With Examples from the Case of Rhodesia // World Politics. 1967. Vol. 19(3). P. 378–416. DOI: <https://doi.org/10.2307/2009785>.
11. Lopez G., Cortright D. The Sanctions Era: An Alternative to Military Intervention // Fletcher Forum of World Affairs. 1995. Vol. 19(2). P. 65–85.
12. Суханова П. А. Инновационная инфраструктура в региональной инновационной экосистеме и ее элементы. Вестник, Сибирский институт бизнеса и информационных технологий, 2012, 3 (3), с. 49–52.
13. Mariusz E. Sokołowicz, Zbigniew Przygodzki. The value of ambiguous architecture in cities. The concept of a valuation method of 20th century post-socialist train stations // Cities. Vol. 104. 2020. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102786.
14. Philipp Meuser. Die Ästhetik der Platte. Wohnungsbau in der Sowjetunion zwischen Stalin und Glasnost. DOM publishers, Technische Universität, Diss, Berlin, 2015. 728 s.
15. Закирова Ю.А., Хуснутдинова С.Р. Городская среда как необходимое пространственное условие развития активного образа жизни и активного туризма // Современные проблемы сервиса и туризма. 2017. №3. С. 59–70.
16. Пискун Е.И., Хохлов В.В., Экономическое развитие регионов Российской Федерации. Факторно-кластерный анализ // Экономика региона, 2019. Т.15, Вып.2. С.363–376 DOI: 10.17059/2019-2-5.

Baltusova Olesya Alexandrovna

Assistant to the President of the Republic of Tatarstan

Presidential Administration

Organization address: 420014, RT, Kazan, Kremlin

Dembich Alexander Alekseevich

candidate of architecture

Email: intererra.kgasu@mail.ru

Mutallapova Gulnara Azatovna

assistant

Email: mutallapova_g@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

Organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Transformation of management tasks during the implementation of urban development of the territory (based on the example of the development concept of Chistopol)

Abstract

Problem statement. In accordance with the decision of the Government of the Republic of Tatarstan on the need to develop a concept for the development of historical settlements of Tatarstan, a temporary creative team was created at Kazan State University of Architecture and Engineering to prepare a similar concept for the town of Chistopol.

At present after analyzing the situation, the team has prepared a conceptual proposal for the urban development of the city, including a roadmap of events.

The proposal is based on human, historical, urban planning and economic resources of the territory.

Results. Organizationally, it is proposed to focus on the revival of the types of employment historically traditional for Chistopol - blacksmithing and sewing, grain and bakery production.

In the urban planning plan, the development of proposals for an exemplary reconstruction of depressive quarterly buildings has begun, which will significantly increase its density characteristics, create a comfortable living environment, and stop the outflow of young people from Chistopol to large cities of the Russian Federation.

Conclusions. The solutions proposed in the concept make it possible to significantly modernize the urban development management system, intensify the life cycle of the town, form a target program for urban planning reconstruction and new construction, attract additional investments for long-term development, and significantly diversify the daily employment of the population.

Keywords: urban development, road map, city block reconstruction, urban equipment, garment production, tourist attraction, municipal administration.

For citation: Baltusova O. A., Dembich A. A., Mutallapova G. A. Transformation of management tasks during the implementation of urban development of the territory (based on the example of the development concept of Chistopol) // *Izvestija KGASU*. 2021. 4 (58). P. 90-96. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_90.

References

1. Message from the President of the Russian Federation VV Putin to the Federal Assembly. January, 2020.
2. Ringland Jill. Scenario Planning for developing a business strategy. M.: LLC "ID Williams", 2008.560 p.
3. Gaponenko A.P., Pankrukhin. Strategic Management. M.: Omega-L, 2008 464 p.
4. Ismagilova R.A. We clean / Native Chistopol: historical and journalistic essays. Vol. 1. Kazan, Idel-Press, 2009.464 pp. Vol. 2. Kazan, Idel-Press, 2013.504 p.
5. Dehejia R.H., Wood B. Economic sanctions and econometric policy evaluation: A cautionary note // *Journal of World Trade*. 1992. Vol. 26. P. 73–84.
6. Ertel K., Solomon L.K. Strategic session: how to ensure the emergence of breakthrough ideas and non-standard problem solving. M.: Alpina Publisher, 2019, 248 p.
7. Kotler F., Asplund K. et al. Marketing places. St. Petersburg: Stockholm School of Economics, 2005, 376 p.
8. Stepanova G.R. Patchwork sewing. M.: AST, 2018 128 p.
9. Krustev V., Morgan T. Ending economic coercion: domestic politics and international negotiations // *Conflict Management and Peace Science*. 2011.Vol. 28, pp. 351–376.
10. Galtung J. On the Effects of International Economic Sanctions. With Examples from the Case of Rhodesia // *World Politics*. 1967. Vol. 19 (3). P. 378-416. DOI: <https://doi.org/10.2307/2009785>.
11. Lopez G., Cortright D. The Sanctions Era: An Alternative to Military Intervention // *Fletcher Forum of World Affairs*. 1995. Vol. 19 (2). P. 65–85.
12. Sukhanova PA Innovative infrastructure in the regional innovation ecosystem and its elements. Bulletin, Siberian Institute of Business and Information Technologies, 2012, 3 (3), pp. 49–52.
13. Mariusz E. Sokołowicz, Zbigniew Przygodzki. The value of ambiguous architecture in cities. The concept of a valuation method of 20th century post-socialist train stations // *Cities*. Vol. 104.2020. P. 1-15. DOI: 10.1016 / j.cities.2020.102786.
14. Philipp Meuser. Die Ästhetik der Platte. Wohnungsbau in der Sowjetunion zwischen Stalin und Glasnost. DOM publishers, Technische Universität, Diss, Berlin, 2015.728 s.
15. Zakirova, Yu. A., Khusnutdinova, S. R. City environment as a necessary condition for the development of active lifestyle and active tourism // *Modern problems of service and tourism*. 2017. №. 3. P. 59-70.
16. Piskun EI, Khokhlov VV, Economic development of regions of the Russian Federation. Factor-cluster analysis // *Regional Economy*, 2019. Vol. 15, Issue 2. Pp. 363-376 DOI: 10.17059 / 2019-2-5.



УДК 725.4

Каюмова Индира Аскарровна

педагог дополнительного образования

Email: yuk_10@mail.ru

Детская архитектурно-дизайнерская школа «ДАШКА»

Адрес организации: 420061, Россия, г. Казань, ул. Николая Ершова, д. 31, к.Б

Киносьян Наталья Станиславовна

доцент, кандидат архитектуры

Email: kinos@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Современное состояние постпромышленных территорий в центральной части города Казани и перспективы их развития

Аннотация

Постановка задачи. В настоящей статье рассматривается круг проблем, связанных с развитием и реорганизацией постпромышленных территорий в центральной части города Казани. Основная цель данного исследования – сформировать классификацию постпромышленных территорий, дать оценку современного состояния выбранных территорий, сформулировать перспективные пути развития постпромышленных территорий с учетом существующих проектных предложений, генплана Казани, а также методик мирового опыта реорганизации в крупных городах. Задачами данной работы являются:

- 1) классификация постпромышленных территорий;
- 2) оценка современного состояния постпромышленных территорий в центральной части города Казани;
- 3) разработка рекомендаций для проектирования на постпромышленных территориях в центральной части города Казани.

Результаты. Выполнен комплексный анализ пяти постпромышленных территорий в центральной части города Казани, включающий в себя градостроительный анализ и натурное обследование. В статье рассмотрены основные постпромышленные территории города Казани, расположенные в центральной части:

- фабрика Алафузова;
- завод Петцольда;
- завод братьев Крестовниковых;
- портовый элеватор;
- промышленный район на улице Гвардейская.

Дана оценка современного состояния данных территорий и сформулированы рекомендации по их развитию.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительства состоит в возможности ориентироваться на классификацию постпромышленных территорий, как на основу для дальнейшего анализа и проектирования, рекомендации могут быть использованы для развития генерального плана города Казани.

Ключевые слова: постпромышленные территории, реорганизация, классификация постпромышленных территорий, центральная часть города Казани.

Для цитирования: Каюмова И. А., Киносъян Н. С. Современное состояние постпромышленных территорий в центральной части города Казани и перспективы их развития. // Известия КГАСУ. 2021. № 4 (58). С 97-109. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_97.

1. Введение

В современной архитектурной и градостроительной практике восстановление заброшенных промышленных объектов и территорий становится важным аспектом

глобальной устойчивой урбанизации [1]. Старые промышленные районы, утратившие прежние производственные, транспортные, инфраструктурные функции – важные объекты в городской застройке, которые обладают хорошим потенциалом для дальнейшего развития [2]. Многие примеры успешного преобразования старых городских территорий и исторических городских промышленных комплексов демонстрируют как социальные выгоды, так и выгоды для окружающей среды [3]. Преимущества преобразования бывших промышленных зон и заброшенных территорий включают такие факторы как: предоставление новых общественных и культурных пространств для отдыха в городской среде, повышение качества среды, повышение культурной и исторической значимости объектов архитектурного наследия [4].

Важным аспектом при реновации постпромышленных территорий является классификация, как общенаучный метод систематизации знаний, направленный на выявление общих характеристик исследуемых объектов [5]. Теоретическими исследованиями в области классификации постпромышленных территорий занимались: Т.Ю. Быстрова, И.А. Котенко, В.А. Токарева [6,7].

В настоящее время в крупных городах реализуются три принципиально разных направления преобразования промышленных территорий [8]:

- сохранение промышленной функции;
- частичная рефункционализация;
- полная рефункционализация.

Для определения метода реновации необходимо выявить последовательность работ на разных уровнях. В первую очередь выполняется комплексный градостроительный анализ предполагаемой территории, следом согласование с генеральным планом города, после которого определяется набор необходимых мер для преобразования территории в соответствии с целями развития города. Заключительный этап реновации – подбор метода реорганизации территории. Таким образом, для эффективной реновации промышленных зон в городе, необходимо произвести глубокий анализ территории, существующих объектов и прилегающих территорий [9].

Проектными предложениями по реновации постпромышленных территорий в городе Казани занимались: специалисты из Казанского Государственного архитектурно-строительного университета, институт генплана Москвы, институт развития городов РТ, архитектурное бюро Orchestra.

Проектное предложение Дембича А.А. (рис. 1а) заключается в реновации территории старого русла реки Казанка, создание парка на территории фабрики Алафузова. Проект института развития городов РТ (рис. 1б) направлен на реновацию территории завода Петцольд и фабрики братьев Крестовниковых. Предлагается связать территорию с набережной озера Кабан, тем самым создать активную рекреационную зону.



Рис. 1. Проектные предложения по реновации постпромышленных территорий

а) Проект Дембича А.А. по реновации старого русла Казанки (источник:

<https://kazan.aif.ru/society/details/1154104>)

б) Проект института развития городов РТ (источник: <https://e-kazan.ru/news/show/46773>)

Институтом генерального плана Москвы в 2019 году был предложен вариант нового генерального плана Казани 2040 года и с 2020 года принят городской думой. Проект предполагает вынос всех промышленных предприятий из центра города [10] Также, в 2019 году в Казани проводилась Вторая молодежная архитектурная биеннале, тема которой стала работа с промышленными объектами, которые не используются по своему прямому назначению. Конкурсными объектами стали: завод «Сантехприбор» и территория портового элеватора [11].

Объектом настоящего исследования являются постпромышленные территории в центральной части г. Казани. Предмет исследования – современное состояние постпромышленных территорий в центральной части г. Казани.

На сегодняшний день для города Казани было предложено несколько вариантов развития постпромышленных территорий, но нет сформированной классификации и комплексного анализа современного состояния данных территорий. Следовательно, целью данного исследования является формирование многоуровневой классификации исследуемых постпромышленных территорий и выявление перспективных направлений с учетом существующих проектных предложений, генплана Казани и методик мирового опыта реорганизации в крупных городах.

Исследовательскими задачами являются:

- классификация постпромышленных территорий;
- оценка современного состояния постпромышленных территорий в центральной части города Казани;
- разработка рекомендаций для проектирования на постпромышленных территориях в центральной части города Казани.

2. Материалы и методы

В качестве материалов для исследования использованы научные статьи по проблемам реорганизации постпромышленных территорий, проектные материалы мирового опыта реорганизации постпромышленных территорий, проектные материалы по развитию и территориальному планированию Казани: проект генерального плана Казани до 2040 года, генеральный план Казани, проектные предложения Дембича А.А., АБ «Orchestra», института развития городов РТ.

Методы исследования включают: общенаучные – наблюдения, классификации, сопоставления и специальные – натурное обследование, авторские зарисовки и фотофиксация.

В настоящее время в мировой практике реализуются три метода в реновации постпромышленных территорий [12]:

- метод «аппликации». Данный метод подразумевает создание нового облика фасада и объемно-планировочного изменения за счет «наложения» новейших строительных технологий, материалов и инженерного оборудования [13]. Примерами метода аппликации являются: жилой дом The Silo в Копенгагене, Дания, разработанный бюро Cobe, проект отеля The Silo и музея МОСАА в Кейптауне;

- метод «аналогий». Метод аналогий предполагает проектирование объекта на основе сравнительного образа. Данный метод применяют для демонстрации образа того или иного объекта промышленности. Метод аналогий применяется на утраченных памятниках или в тех случаях, когда надо показать характер объекта при помощи конструктивных решений, деталей, элементов промышленного оборудования [14]. Примером метода аналогий являются: коворкинг-пространство «Work&Co», расположенный в городе Дюнкерк, Франция, проект отеля The Krane, расположенный в активно развивающемся районе Нордхавн на территории бывшего промышленного комплекса;

- метод «интеграции» - врезка новых элементов, структур в существующую объемно-планировочную композицию. Достигается путем создания доминант в объеме существующего здания, визуальное скрытие масштабов здания с помощью художественных приемов, адаптация к окружающей застройке местности [15]. К примерам относятся: проект выставочного комплекса Fondazione Prada, разработанного бюро ОМА, торговый павильон Malmo Saluhall, предложенный

архитекторами бюро Wingårdh, проект ландшафтного парка Domino Sugar Factory в Нью-Йорке.

Территориальные границы настоящего исследования ограничены площадью 6.9 га – в Кировском районе Казани; 18,4 га – в историческом центре города, 24 га – в Ново-татарской слободе и 165 га – в Советском районе Казани.

В силу объемной информации и большой площади территорий, авторами были заданы общие направления развития пяти исследуемых участков. Данная методика – основа для дальнейшего детального исследования и работы над каждым участком в отдельности.

Определение материалов и методов исследования исходило из поставленных ранее задач:

1. Используя общенаучный метод классификации, на основе систематизации библиографических источников, архивных материалов и нормативных актов выполнена классификация постпромышленных территорий в центральной части города Казани по следующим критериям: площади, времени использования, экологичности производства, типу промышленности, интеграции в структуру города и наличию объектов архитектурного наследия;

2. В основу специальных методов исследования легло натурное обследование территорий, авторские зарисовки и фотофиксация. Это позволило дать оценку современного состояния исследуемых постпромышленных территорий на предмет: существующей в настоящее время функции, доступа на территорию, благоустроенности, пешеходной доступности, наличию стихийных парковок (как наиболее часто встречающееся явление заброшенных территорий) и, главное, интеграции данных участков в современную жилую застройку. Вследствие выполненного анализа был сделан выбор метода реорганизации;

3. Для разработки рекомендаций по проектированию на постпромышленных территориях использованы: лучшие проектные материалы мирового опыта реорганизации постпромышленных территорий, проектные материалы по развитию и территориальному планированию Казани (проект генерального плана Казани до 2040 года), учтены существующие проектные предложения Дембича А.А., АБ «Orchestra», института развития городов РТ.

3. Результаты

В ходе исследования были проанализированы пять постпромышленных территорий в центральной части города Казани, которые представляют наибольшую ценность с точки зрения архитектурно-планировочного, градостроительного и культурного значения. К данным территориям относятся:

- пивоваренный завод Петцольда, расположенный в Старо-Татарской слободе на берегу озера Кабан;
- льнопрядильная фабрика Алафузова, расположенная в Кировском районе города Казани, на берегу старого русла Казанки;
- завод братьев Крестовниковых, который находится в Старо-Татарской слободе, вблизи пивоваренного завода Петцольд и действующего завода «Нэфис»;
- промышленный район на улице Гвардейская в Приволжском районе города;
- портовый элеватор, расположенный на берегу реки Волга.

Классификация постпромышленных территорий по площади и времени использования, экологичности, типу промышленности, интеграции в структуру города и наличию объектов архитектурного наследия представлена в таблице 1.

Таблица 1

Классификация постпромышленных территорий

Наименование территории	Тип промышленности	Интеграция в структуре города	Наличие на территории объектов наследия архитектуры	Площадь использования	Время использования	Экологичность
1	2	3	4	5	6	7
Территория фабрики Алафузова	Текстильная промышленность	Кировский район города Казань, берег старого русла Казанки	«Дом Котелова, 1833г. арх. Пятницкий. Здание Алафузовского театра, здание льноткацкой фабрики Алафузова.	6.9 Га	142 года. С 1865 до 2007 года	III
Территория завода Петцольд	Пищевая промышленность	Исторический центр города Казань, Старо-татарская слобода, берег озера Кабан	«Комплекс пивоваренного завода Петцольда, 1905г».	1.4 Га	95 лет. С 1905 до 2000 года	III
Территория фабрики братьев Крестовниковых	Химическая промышленность	Исторический центр города Казань, Старо-татарская слобода, берег озера Кабан	Здание товарищества «Братья Крестовниковы». Памятник промышленной архитектуры начала 20 века.	17 Га	156 лет. С 1855 до 2011 года	I
Территория портового элеватора	Зернохранилище	Ново-татарская слобода, берег реки Волга	Отсутствуют	24 Га	55 лет. С 1956 до 2011 года	III
Территория промышленного района на улице Гвардейская	Изготовление железобетонных конструкций	Советский район города Казань, в структуре жилой застройки	Отсутствуют	165 Га	74 года. С 1947 до сегодняшнего дня	I

*Примечание

I класс – особо опасные производства, оказывающие наиболее негативное влияние на природную среду,

II класс – опасные производства, оказывающие умеренное влияние на экологию,

III класс – малоопасные производства, оказывающие незначительное влияние на окружающую среду.

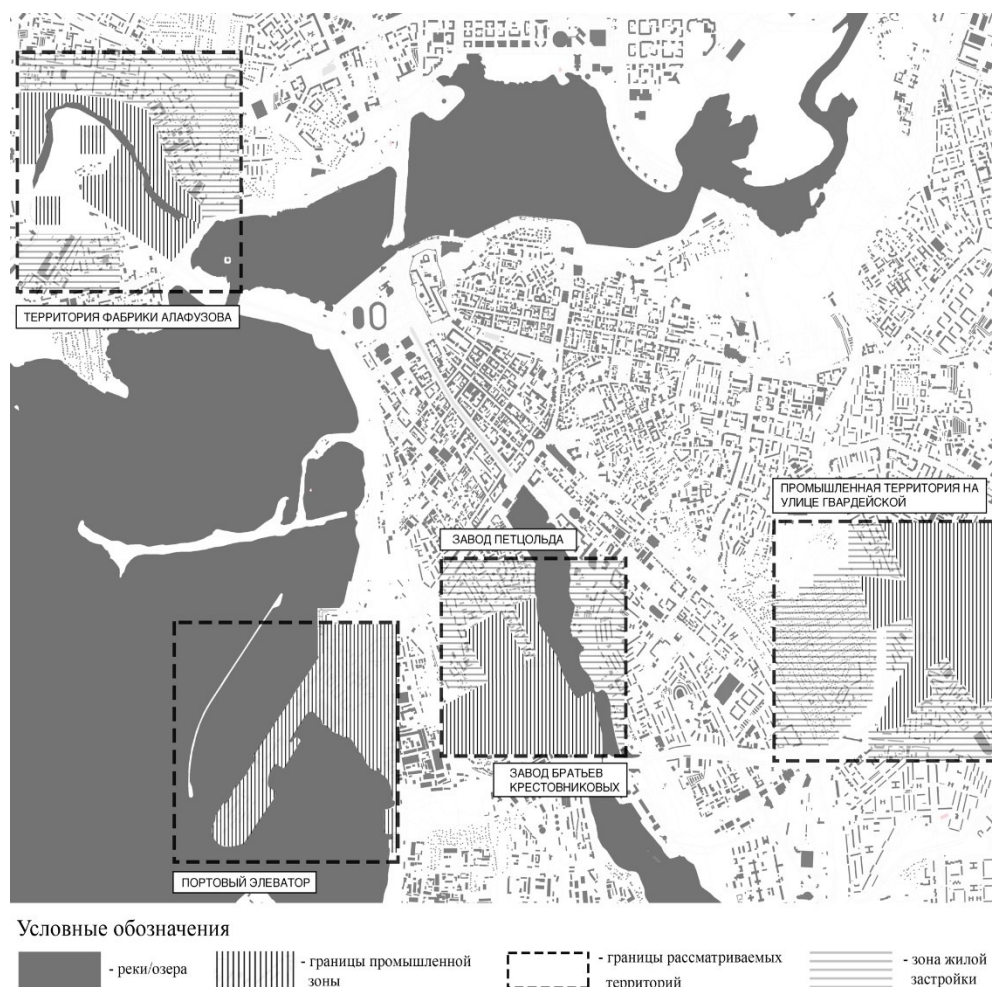


Рис. 2. Схема Казани с выявлением постпромышленных территорий
(иллюстрация авторов)

В результате исследования выполнена схема города Казани с выявлением расположения постпромышленных территорий в структуре современной городской застройки (рис. 2.), которая наглядно демонстрирует проблематику, а, следовательно, выбор метода реорганизации.

- территория фабрики Алафузова граничит с жилой застройкой с северо-восточной стороны, с озелененными территориями и Зилантовым монастырем с западной стороны. Данная территория обладает богатым природным потенциалом. На территории расположены объекты культурного наследия Республики Татарстан: дом Котелова, Алафузовский театр, здание льноткацкой фабрики Алафузова;

- территория завода Петцольда и фабрики братьев Крестовниковых граничит с исторической застройкой Старо-татарской слободы и с набережной озера Кабан, на территории находится объект культурного наследия Республики Татарстан «Комплекс пивоваренного завода Петцольда» и памятник промышленной архитектуры 19 века «Здание товарищества Братья Крестовниковы»;

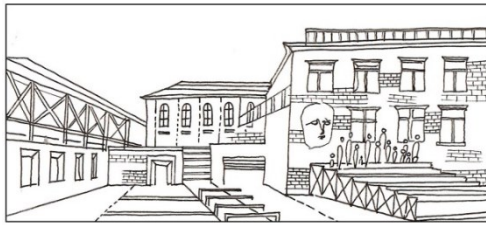
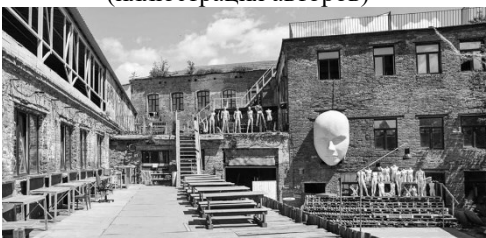
- территория портового элеватора находится в промышленном районе города Казани, имеет прямой выход к акватории реки Волга, граничит с речным портом;

- промышленный район на улице Гвардейской находится в активно развивающемся жилом районе города. Данная территория полностью окружена жилой застройкой.

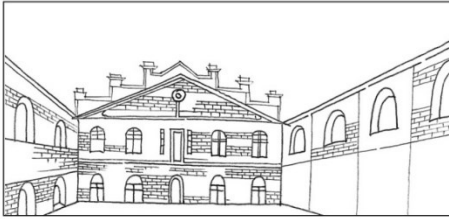
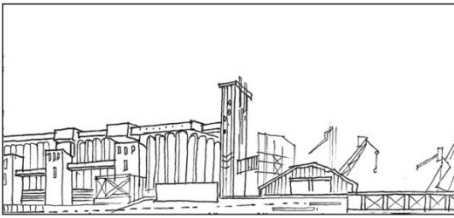
Выполнена современная фотофиксация, авторские зарисовки, дана оценка современного состояния постпромышленных территорий в центральной части города Казани по критериям пешеходной доступности, уровню благоустройства и наличию стихийных парковок (см. табл. 2).

Таблица 2

**Оценка современного состояния постпромышленных территорий в центральной части
города Казани**

	Оценка современного состояния постпромышленных территория	Современная фотофиксация, авторские зарисовки постпромышленных территорий
1	2	3
Фабрика Алафузова	СУЩЕСТВУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ ДОСТУП НА ТЕРРИТОРИЮ УРОВЕНЬ БЛАГОУСТРОЕННОСТИ ПЕШЕХОДНАЯ ДОСТУПНОСТЬ НАЛИЧИЕ СТИХИЙНЫХ ПАРКОВОК ЛОФТ-ПРОЕКТ «ФАБРИКА АЛАФУЗОВА» 	 (иллюстрация авторов)  (фотофиксация авторов)
	СУЩЕСТВУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ ДОСТУП НА ТЕРРИТОРИЮ УРОВЕНЬ БЛАГОУСТРОЕННОСТИ ПЕШЕХОДНАЯ ДОСТУПНОСТЬ НАЛИЧИЕ СТИХИЙНЫХ ПАРКОВОК СКЛАДСКИЕ ЗДАНИЯ 	 (иллюстрация авторов)  (фотофиксация авторов)

Продолжение табл. 2

1	2	3
Завод братьев Крестовниковых	СУЩЕСТВУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ ДОСТУП НА ТЕРРИТОРИЮ УРОВЕНЬ БЛАГОУСТРОЕННОСТИ ПЕШЕХОДНАЯ ДОСТУПНОСТЬ НАЛИЧИЕ СТИХИЙНЫХ ПАРКОВОК НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ    	 (иллюстрация авторов)  (фотофиксация авторов)
Портовый элеватор	СУЩЕСТВУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ ДОСТУП НА ТЕРРИТОРИЮ УРОВЕНЬ БЛАГОУСТРОЕННОСТИ ПЕШЕХОДНАЯ ДОСТУПНОСТЬ НАЛИЧИЕ СТИХИЙНЫХ ПАРКОВОК НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ    	 (иллюстрация авторов)  (фотофиксация авторов)
Район Гвардейской	СУЩЕСТВУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ ДОСТУП НА ТЕРРИТОРИЮ УРОВЕНЬ БЛАГОУСТРОЕННОСТИ ПЕШЕХОДНАЯ ДОСТУПНОСТЬ НАЛИЧИЕ СТИХИЙНЫХ ПАРКОВОК НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ    	 (иллюстрация авторов)  (фотофиксация авторов)

4. Обсуждения

В ходе анализа и оценки современного состояния постпромышленных территорий в центральной части города Казани были определены ключевые проблемы и особенности:

- бывшие промышленные территории находятся в структуре жилой застройки;
- наличие препятствий, ограничивающих свободное перемещение людей;

- отсутствие точек притяжения;
- неудовлетворительное состояние благоустройства территорий.

Согласно генеральному плану г. Казани (рис. 3.), принятому в 2020 году, территория фабрики Алафузова является зоной перспективного формирования жилых районов и рекреационной зоной с долей общественных функций. Освоение территории возможно при условии разработки проекта планировки. Проект Дембича А.А. по реновации старого русла р.Казанка и проектное предложение АБ «Orhestra» по созданию парка «Старая Казанка» базируются на разработанном генплане города.

Территории портового элеватора, промышленного района на улице Гвардейской, завода братьев Крестовниковых и завода Петцольд являются зонами многофункционального развития города, освоение которых возможно при детальной разработке проектного предложения. Проект Дембича А.А. по созданию делового центра на территории портового элеватора не противоречит проекту генплана Казани.

Проектов освоения промышленной территории на ул. Гвардейская пока не предлагалось. В 2021 году, согласно генеральному плану, на участке от ул. Гвардейской до Проспекта Победы, началось активное строительство главной магистральной улицы – Вознесенского тракта (рис. 3.), которая обеспечит транспортную доступность и создаст условия для возможной реорганизации данной территории под жилые районы.

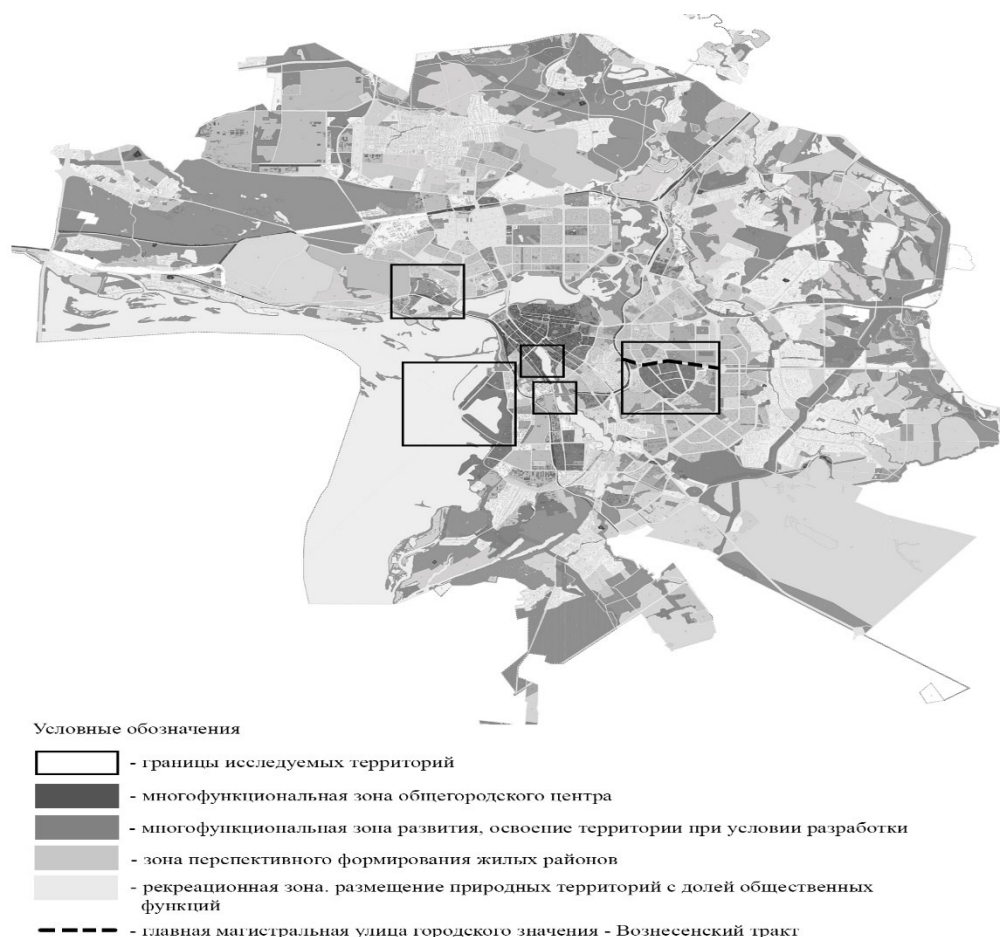


Рис. 3. Генеральный план Казани
(иллюстрация авторов)

Учитывая функциональные особенности зонирования генплана г.Казани (2020г.) для решения выявленных проблем рекомендовано провести следующие мероприятия по реорганизации постпромышленных территорий:

1. Использование современных методов реновации постпромышленных территорий, успешно применяемых в мировой практике крупных городов, таких как: метод аппликации, метод аналогий и метод интеграции. Использование метода аппликации актуально для реновации территории портового элеватора, метода

аналогий - для территории завода Петцольда и территории завода братьев Крестовниковых, метода интеграции – для промышленного района на улице Гвардейская;

2. озеленение и благоустройство постпромышленных территорий с целью их экологической реабилитации [16];

3. Организация доступной транспортной и пешеходной системы в рамках данных территорий;

4. Создание рекреационной инфраструктуры согласно принципам адаптивного повторного использования постпромышленных объектов, с целью устойчивого развития городской системы [17].

5. Учесть рекомендованные архитекторами и градостроителями проектные предложения по развитию постпромышленных территорий центральной части Казани:

- на территории фабрики Алафузова (проект парка «Старая Казанка» АБ Orhestra в составе творческого объединения стратегии развития р. Казанка) организовать парковую зону, в здании фабрики расположить арт-кластер [18];

- территорию завода Петцольд и завода братьев Крестовниковых (проект института развития городов РТ) объединить с набережной озера Кабан и создать рекреационную зону с многофункциональными объектами: музейными и выставочными пространствами, торговыми площадками и площадками для зоны;

- территорию портового элеватора и Ново-татарской слободы (проект Дембича А.А.) переоборудовать в деловой центр «Врата востока»;

- территорию промышленного района на улице Гвардейская, согласно исследованиям института генплана Москвы переоборудовать в жилой район с административно-деловым центром и парковой зоной и включить данную территорию в структуру города.

5. Заключение

1. В результате проведенного исследования были проанализированы основные исторически значимые промышленные территории: фабрика Алафузова, завод Петцольда, завод братьев Крестовниковых, портовый элеватор, промышленный район на улице Гвардейская. Сформирована классификация постпромышленных территорий;

2. Выполнен комплексный анализ современного состояния постпромышленных территорий в центральной части города Казани. Установлено, что современное состояние выбранных территорий является крайне неудовлетворительным, многие из них потеряли свое значение в городской структуре и нуждаются в реорганизации;

3. Даны перспективные направления развития выбранных территорий. Рекомендовано провести рефункционализацию бывших промышленных объектов под нужды населения. Создать на их базе административно-офисные центры, культурно-просветительские кластеры и жилые районы;

4. Основной задачей при реорганизации постпромышленных территорий в центральной части Казани является обеспечение функционального разнообразия территорий и включения их в общую городскую структуру. Рекомендовано обеспечить постпромышленные территории центральной части города доступностью для жителей, провести ряд мероприятий по озеленению и благоустройству, создать новые пешеходные маршруты и включить данные территории в транспортно-пешеходную сеть города.

Список библиографических ссылок

1. Yang Zhang, Guangmin Zhang, Ping Guo. Regeneration path of abandoned industrial buildings: The moderating role of the goodness of regeneration mode / Journal of Cleaner Production. Volume 297. 2021. 126668. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126668.
2. Fuying Liu, Qi Zhao, Yulan Yang. An approach to assess the value of industrial heritage based on Dempster-Shafer theory / Journal of Cultural Heritage, Volume 32. 2018, P. 210-220. DOI: 10.1016/j.culher.2018.01.011.

3. Brano Glumac, Nizamul Islam. Housing preferences for adaptive re-use of office and industrial buildings: Demand side / *Sustainable Cities and Society*. Volume 62. 2020. 102379. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102379.
4. Katarína Kristiánová, Katarína Gécová, Eva Putrová. Old Industrial Sites – Conversion to Parks: Potential of Bratislava / *Procedia Engineering*. Volume 161. 2016. P 1858-1862. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.709.
5. Быстрова Т. Ю. Реабилитация промышленных территорий городов: теоретические предпосылки, проектные направления (часть 2) // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reabilitatsiya-promyshlennyh-territoriy-gorodov-teoreticheskie-predposylki-proektnye-napravleniya-chast-2> (дата обращения: 16.11.2021).
6. Быстрова Т. Ю. Реабилитация промышленных территорий городов: теоретические предпосылки, проектные направления (часть 1) // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reabilitatsiya-promyshlennyh-territoriy-gorodov-teoreticheskie-predposylki-proektnye-napravleniya-chast-1> (дата обращения: 16.11.2021).
7. Котенко И. А., Токарева В. А. Реновация бывших промышленных территорий // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 3 (20). С. 47-52.
8. Цитман Т. О., Богатырева А. В. Реновация промышленной территории в структуре городской среды // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. №4 (14). С.29-35.
9. Старкова Н. В., Грин И. Ю. Эффективные методы комплексного подхода к реновации промышленных территорий / Хабаровск, Россия / С.233-234
10. Генплан Казани (до 2040 года) // <https://genplanmos.ru>: интернет-изд. 2019. URL: <https://genplanmos.ru/project/genplan-kazani-do-2040-goda/> (дата обращения: 04.10.21)
11. Вторая российская молодежная архитектурная биеннале // <https://www.archbiennale.ru/>: интернет-изд. 2019. URL: <http://2019.archbiennale.ru/> (дата обращения: 03.10.21).
12. Michele Laraia. The fundamentals of industrial redevelopment // In Woodhead Publishing Series in Energy, Beyond Decommissioning, Woodhead Publishing. 2019, P. 15-58. DOI: 10.1016/B978-0-08-102790-5.00002-6.
13. Jayantha Wadu Mesthrige, Johnny K.W. Wong, Lin Nga Yuk Conversion or redevelopment? Effects of revitalization of old industrial buildings on property values / *Habitat International*. Volume 73. 2018. P 53-64.
14. Дрожжин Р. А. Реновация промышленных территорий // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 1 (11). С.84-86.
15. Толпинская Т. П., Альземенова Е. В., Мамаева Ю. В. Основные направления реновационного процесса в преобразовании промышленных территорий под общественные пространства // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. 2019. № 3 (29). С. 52–63.
16. Нгуен, Н. Н. Ландшафтно - экологическая реконструкция постпромышленных территорий во Вьетнаме / Нгуен Н. Н. // Вестник гражданских инженеров / СПб: СПбГАСУ - 2012. -№ 2 (37).
17. Таразанова Ю. Е. Прошлое, настоящее и будущее «заброшенных» промышленных территорий в современном городе. // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016026666> (дата обращения: 11.05.2021).
18. Стратегия развития Казанки // <https://kazanka.tatar/>: интернет-изд. 2021. URL: https://kazanka.tatar/old_kazanka/ (дата обращения: 04.05.21).

Kayumova Indira Askarovna

additional education teacher

Email: yuk_10@mail.ru

Architecture and design school for children "DASHKA"

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Nikolay Ershov st., 31b

Kinosyan Natalia Stanislavovna

associate professor, candidate of architecture

Email: kinosa@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

The current state of post-industrial territories in the central part of the city of Kazan and the prospects for their development**Abstract**

Problem statement. The article deals with a range of problems associated with the development and reorganization of post-industrial territories in the central part of the city of Kazan. The main goal of this study is to form a classification of post-industrial territories, to assess the current state of the selected areas, to formulate promising ways of developing post-industrial territories, taking into account existing project proposals, the general plan of Kazan, as well as methods of global experience of reorganization in large cities.

Results. A comprehensive analysis of five post-industrial territories in the central part of the city of Kazan was carried out, including urban planning analysis and field survey. The article discusses the main post-industrial areas of the city of Kazan, located in the central part:

- Alafuzov's factory,
- Petzold plant,
- the factory of the Krestovnikov brothers,
- port elevator,
- industrial area on Gvardeyskaya street

The assessment of the current state of these territories is given and recommendations for their development are formulated.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture and urban planning lies in the ability to focus on the classification of post-industrial territories as the basis for further analysis and design, the recommendations can be used for the development of the master plan of the city of Kazan.

Keywords: post-industrial territories, reorganization, typology of post-industrial territories, the central part of the city of Kazan.

For citation: Kayumova I. A., Kinosyan N. S. The current state of post-industrial territories in the central part of the city of Kazan and the prospects for their development // Izvestiya KGASU. 2021. № 4 (58). P. 97-109. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_97.

References

1. Yang Zhang, Guangmin Zhang, Ping Guo. Regeneration path of abandoned industrial buildings: The moderating role of the goodness of regeneration mode / Journal of Cleaner Production. Volume 297. 2021. 126668. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126668.
2. Fuying Liu, Qi Zhao, Yulan Yang. An approach to assess the value of industrial heritage based on Dempster-Shafer theory / Journal of Cultural Heritage, Volume 32. 2018, P. 210-220. DOI: 10.1016/j.culher.2018.01.011.
3. Brano Glumac, Nizamul Islam. Housing preferences for adaptive re-use of office and industrial buildings: Demand side / Sustainable Cities and Society. Volume 62. 2020. 102379. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102379.
4. Katarína Kristiánová, Katarína Gécová, Eva Putrová. Old Industrial Sites – Conversion to Parks: Potential of Bratislava / Procedia Engineering. Volume 161. 2016. P. 1858-1862. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.709.

5. Bystrova T. Yu. Rehabilitation of industrial territories of cities: theoretical premises, design directions (part 2) // Academic Bulletin UralNIIproekt RAASN. 2013. No. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reabilitatsiya-promyshlennyh-territoriy-gorodov-teoreticheskie-predposylki-proektnye-napravleniya-chast-2> (reference date: 16.11.21)
6. Bystrova T. Yu. Rehabilitation of industrial territories of cities: theoretical premises, design directions (part 1) // Academic Bulletin UralNIIproekt RAASN. 2013. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reabilitatsiya-promyshlennyh-territoriy-gorodov-teoreticheskie-predposylki-proektnye-napravleniya-chast-1> (reference date: 16.11.2021).
7. Kotenko I. A., Tokareva V. A. Renovation of former industrial territories // Bulletin of SGASU. Urban planning and architecture. 2015. No. 3 (20). P. 47-52.
8. Tsitman T. O, Bogatyreva A. V. Renovation of industrial territory in the structure of the urban environment // Civil Engineering Bulletin of the Caspian Region: scientific and technical journal / Astrakhan Civil Engineering Institute. Astrakhan: GAOU JSC VPO "AISI", 2015. No. 4 (14). P. 29-35.
9. Starkova N. V., Grin I. Yu. Effective methods of an integrated approach to the renovation of industrial territories / Khabarovsk, Russia / P. 233-234
10. General plan of Kazan (up to 2040) // <https://genplanmos.ru>: Internet-edit. 2019. URL: <https://genplanmos.ru/project/genplan-kazani-do-2040-goda/> (reference date: 04.10.21)
11. The Second Russian Youth Architecture Biennale // <https://www.archbiennale.ru/>: Internet-edit. 2019. URL: <http://2019.archbiennale.ru/> (reference date: 03.10.21).
12. Michele Laraia. The fundamentals of industrial redevelopment / In Woodhead Publishing Series in Energy, Beyond Decommissioning, Woodhead Publishing. 2019, P. 15-58. DOI: 10.1016/B978-0-08-102790-5.00002-6.
13. Jayantha Wadu Mesthrige, Johnny K.W. Wong, Lin Nga Yuk Conversion or redevelopment? Effects of revitalization of old industrial buildings on property values / Habitat International. Volume 73. 2018. P 53-64.
14. Drozhzhin R. A. Renovation of industrial territories // Bulletin of the Siberian State Industrial University. 2015. No. 1 (11). S.84-86.
15. Tolpinskaya T. P., Alzemeneva E. V., Mamaeva Yu. V. The main directions of the renovation process in the transformation of industrial territories into public spaces // Engineering and construction bulletin of the Caspian region: scientific and technical journal. 2019. No. 3 (29). S. 52–63.
16. Nguyen, N. N. Landscape - ecological reconstruction of post-industrial territories in Vietnam / Nguyen N. N. // Bulletin of civil engineers / SPb: SPbGASU - 2012. -№ 2 (37).
17. Tarazanova Yu. E. The past, present and future of abandoned industrial territories in the modern city. // Materials of the VIII International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum" URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016026666> (reference date: 05.11.2021).
18. Development strategy of Kazanka // <https://kazanka.tatar/>: Internet-edit. 2021. URL: https://kazanka.tatar/old_kazanka/ (reference date: 04.05.21).

**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 A4);
- 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 текста статьи (от введения до заключения включительно) и не более 10 страниц, включая таблицы и иллюстрации. Иллюстративный материал не должен перегружать статью (не более 4 рис.). Таблицы и иллюстрации компоновать с учетом вышеуказанных полей.

Таблицы создать средствами Microsoft Word и присвоить им имена: Таблица 1, Таблица 2 и т.д. В случае если таблица в статье одна, номер ей не присваивается. Название таблицы с порядковым номером (или номер таблицы без названия) располагается над таблицей: порядковый номер – справа, название таблицы – по центру. Текст таблицы должен быть набран шрифтом размером 10 пт с одинарным междустрочным интервалом.

Иллюстрации представить в тексте статьи, используя основные графические форматы (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 междустрочным интервалом. Не допускается выполнение рисунков в редакторе Microsoft Word. Минимальный размер иллюстраций – 70×70 мм, максимальный – 150×240 мм.

Иллюстративный материал приводится с обязательным указанием источника (в случае, если иллюстративный материал принадлежит авторам, это также указывать – в круглых скобках – (иллюстрация авторов)).

Все символы, отсутствующие на клавиатуре, набирать только в Microsoft Word, используя «Вставку символа». Формулы также набирать как текст в Microsoft Word. Для набора таких формул, которые невозможно набрать как текст в Word, использовать редактор формул, встроенный в Microsoft Word, 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, формулы должны быть вставлены в таблицы с невидимыми границами (пробелами ничего не должно быть задано). 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

Email: 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

Постановка задачи.

Результаты.

Выводы.

Текст аннотации (до 250 слов).

Особое внимание следует уделить аннотации: она должна в сжатой форме отражать содержание статьи. Логически аннотация, как и сам текст статьи, делится на три части: **Постановка задачи** (Цель исследования – выявить), **Результаты** (Основные результаты исследования состоят в) и **Выводы** (Значимость полученных результатов для строительной отрасли/архитектуры состоит в), которые также выделяются заголовками. Каждая из этих частей в краткой форме передает содержание соответствующих частей текста – введения, основного текста и выводов.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, карбамидные пенопласты, модификация.

разделительный интервал

Для цитирования: (заполняется редакцией).

разделительный интервал

Текст статьи (от 5 до 10 страниц – от введения до заключения включительно).

1. Введение

Текст раздела.

разделительный интервал

2. Материалы и методы

Текст раздела.

разделительный интервал

3. Результаты

Текст раздела.

разделительный интервал

4. Обсуждение

Текст раздела.

разделительный интервал

5. Заключение

Текст раздела.

разделительный интервал

Список библиографических ссылок

разделительный интервал

Ivanov Ivan Ivanovich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: 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 (перевод русскоязычной аннотации на английский язык)

Problem statement.

Results.

Conclusions.

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. Васильев Ю. Э., Котляровский Э. В., Кочнев В. И., Менькина У. О., Сарычев И. Ю., Талалай В. В., Фролкина С. С., Шляфер В. Л. Межлабораторные совместные оценочные эксперименты по испытанию нефтяного дорожного битума и асфальтобетонных смесей. М. : Техполиграфцентр, 2020. 258 с.
2. Стрельникова Е. Ю., Труфляк И. С. Отличительные черты архитектуры первых образовательных учреждений Европы для детей с ментальными нарушениями // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 6. С. 766–775. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.766-77.
3. Тезисы докладов : сб. научных трудов 71-й Всероссийской научной конференции, Казань, 2019. 357 с.
4. Давиденко А. Ю., Гаврилова Ю. П. Применение BIM-технологии в современном строительстве : сб. ст. 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров – Проектирование и строительство / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2020. С. 100–104.
5. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения : пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03 ; заявл. 26.05.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. 5 с.
6. Доклад начальника Главного управления по делам печати Н. Татищева министру внутренних дел, 1913 г. // РГИА, Ф. 785. Оп. 1. Д. 188. Л. 307.
7. Гущин Б. П. Журнальный ключ : статья // ПФА РАН. Ф. 900. Оп. 1. Ед. хр. 23. 5 л.
8. Теория машин // Prognosis.ru : ежедн. интернет-изд. 2010. URL: <http://www.prognosis.ru/logos.html> (дата обращения: 02.12.2019).

Примеры перевода перечня ссылок на английский язык:

1. Vasilev Iu. E., Kotliarskii E. V., Kochnev V. I., Menkina U. O., Sarychev I. Iu., Talalai V. V., Frolkina S. S., Shliafer V. L. Inter-laboratory joint evaluation experiments for testing petroleum road bitumen and asphalt mixtures. M. : Tekhpolygrafsentr, 2020. 258 p.
2. Strelnikova E. Yu., Truflyak I. S. Distinctive architectural features of the first european educational in-stitutions for children with mental disabilities // Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15. Iss. 6. P. 766–775. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.766-77.
3. Theses of reports : proceedings of the 71th All-Russian scientific conference, Kazan, 2019. 357 p.
4. Davidenko A. Iu., Gavrilova Iu. P. The use of BIM-technology in modern construction : dig. of art. 4th International scientific and practical conference of young scientists, graduate students, masters and bachelors – Design and Construction / Southwestern State University. Kursk, 2020. P. 100–104.
5. 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.
6. 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.
7. Guschin B. P. Journal key : article // PFA RAS. F. 900. Op. 1. St. un. 23. 5 sh.
8. Theory of machines // Prognosis.ru : daily. internet-edit. 2010. URL: <http://www.prognosis.ru/logos.html> (reference date: 02.12.2019).

Библиографические ссылки указываются по порядку в тексте.

В виде сносок библиографические ссылки не указывать.

Указание более 5-ти источников подряд – «пулеметных ссылок» – **не допускается**, (например, нельзя указывать «...В работах [1-6]...» и т.п.).

Если источник имеет **цифровой идентификатор объекта (DOI)**, то его также необходимо указать. Для определения наличия у публикации DOI рекомендуется использовать данный сервис: <https://www.crossref.org/guestquery/>

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 электронный каталог АО «ПОЧТА РОССИИ», индекс издания – ПП890.

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, Отдел ИАС НИР, комн. 79. Телефон (843) 510-46-39. Email: patent@kgasu.ru.

Банковские реквизиты:

КГАСУ

420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1

ИНН 1655018025 КПП 165501001

Р/сч. 03214643000000011100

в Отделение-НБ Республика Татарстан Банка России/УФК по Республике Татарстан г. Казань

БИК 019205400

Л/с 20116X06860

Указать назначение платежа: Код дохода: 00000000000000000130 реализация издательской деятельности.

Известия КГАСУ
2021г., № 4 (58)

Гл. редактор: Низамов Р. К.
Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Макет и редактирование: Фролычев Д. А.

Адрес редакции: 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1, комн. 79
Тел. для справок: (843) 510-46-39
Адрес издателя: 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1, комн. 79

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Регистрационный номер: ПИ № ФС77-77410 от 17.12.2019г.
Индекс издания – ПП890
Электронное периодическое издание: <http://izvestija.kgasu.ru>
Регистр. Эл № ФС 77-31046 от 25.01.2008г.

Электронный каталог АО «ПОЧТА РОССИИ»: <https://podpiska.pochta.ru/>

Распространение: свободная цена

Подп. к печати	Формат 60×84/8
Заказ 175	Бумага тип. №1
Усл.-печ. л. 14,25	Уч.-изд. л. 14,75
Тираж 500 экз.	
I завод – 100	

Дата выхода в свет: 31.12.2021г.

Отпечатано в Издательстве КГАСУ: 420061, г. Казань, ул. Николая Ершова, д.31Б