ISSN 2073-1523 (print) ISSN 2073-154X (online)

NEWS

Kazan
State
University
Architecture
Engineering

ISSN 2073-1523 (print) ISSN 2073-154X (online)

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
2023г., № 4(66)

ББК 38
И 33
УДК 69

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Свидетельство о регистрации № ФС77-31046 от 25 января 2008г.). Включен в подписной каталог ГК «Урал - Пресс» индекс издания – 36939.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1, комн. 79
Тел. (843) 510-46-39
E-mail: patent@kgasu.ru Сайт: http://izvestija.kgasu.ru

© Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2023

ISSN 2073-1523 (print) ISSN 2073-154X (online)

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 KSUAE
2023, № 4(66)

BBC 38
I 33
UDC 69

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

EDITORIAL BOARD:

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

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

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

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

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

It is registered by the Federal service for supervision of communications, information technology, and mass media (the certificate on registration № FS77-31046, dated January, 25th, 2008). It is included in the subscription catalog of the Ural Press Group of Companies; subscription number 36939.

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

© News Kazan State University of Architecture and Engineering, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	
Шакиров А. Р., Сулейманов А. М. Выбор конструктивно-подобного образца для испытания на ползучесть клеевых соединений элементов усиления конструкций	8
Коянкин А.А., Митасов В.М. Результаты экспериментальных исследований напряжённо-деформированного состояния сборно-монолитной рамы	17
Гайнетдинов Р.Г., Гимранов Л.Р., Сибгатуллин М.Т. Стальные полигональные арочные конструкции из унифицированных элементов	25
Петров А.С., Иванцов А. И. Упрощенный метод локализации источника шума в здании при эксплуатационных условиях	33
Шакиров А. Р., Шакирзянов Ф. Р., Сулейманов А. М. Исследование численной модели напряжённо-деформированного состояния железобетонной балки, усиленной углепластиком	43
ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	
Королева И.В. Исследование влияния фактора времени на прочность глин	53
Нуриева Д.М., Агафонов И.В. Анализ опыта проектирования и строительства подземных сооружений с применением «стены в грунте»	61
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Надырова Х. Г., Нурмухаметов В. В., Сулейманов А.М. Роль губернского архитектора Фомы Ивановича Петонди как управленца и градостроителя в развитии Казани	73
М. Байрам Бекир. Типологические особенности исторических жилых домов города Самсун: архитектурное, историческое и культурное значение	85
Хабибулина А.Г., Сулейманов А.М., Бабенко Р.Н. Фасады исторических зданий с каменной кладкой: обзор методов и способов реставрации	96
Латыпова М.С. Семантический подход к проектированию открытых городских общественных пространств в районах жилой застройки (на примере Республики Татарстан)	109
Саттаров А.Г. Формирование современной исламской культовой архитектуры России	120
Сибгатуллина Л.Ш. Сулейманов А.М. Реконструкция парка имени Урицкого г. Казань: история создания, проблемы, принципы	133
Надырова Д.А. Доходные дома Старо-Татарской слободы Казани: выявление архитектурной идентичности на примере доходного комплекса Апанаевского подворья	143
Степанчук А.В., Сулейманов А.М., Петрушин М.П. К вопросу реорганизации промышленной территории Льнокомбината в г. Казани	153
Воронина А.С., Персова С.Г. К вопросу датировки строительных периодов храма Иоанна Златоуста в селе Ивановское	165
Сулейманов А.М., Сулейманова Е.Д., Ширеева Д.Г. Функционально-технологические особенности специализированных центров испытания технических систем	176
Надырова Х.Г., Хайруллина А.Т., Надырова Д.А. Промышленные комплексы Ягодной слободы Казани: исторический архитектурно-градостроительный аспект развития до начала XX в.	188
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	
Пономарев Е.С., Евгеньева Е.В. Комплексное развитие университетских кампусов на основе архитектурно планировочных моделей	205
Йылмазсой Б.Э. Изучение архитектуры исторических районов Бейоглу в Стамбуле: Открытия исследования центральной части города	216
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Сайфуллин И.Ф., Сабирзянова А.Р. Пространственный код проектного процесса и архитектурных решений	225
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Макаренко С.В., Гонжитов А.Б., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Оценка влияния технологических факторов на свойства строительной керамики на основе золошлаковых смесей ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго»	233
Валиев А.И., Шакирзянов Ф.Р., Сулейманов А.М., Низамов Р.К. Оценка напряженно-деформированного состояния гибридных полимерных композитов, изготовленных методом вакуумной инфузии	241
Шахов С.А. Реологическое поведение формовочных масс из модифицированной кремнезолем глинозольной шихты	255
Хомяков А.А., Фомин А.Ю., Низамов Р.К. Битумное вяжущее, модифицированное полисульфидом на основе смеси алифатических аминов и высших жирных кислот	267

Шакирзянов Ф.Р., Валиев А.И., Сулейманов А.М., Низамов Р.К. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния гибридных композитов	275
Смирнов Д.С., Фомина Я.А. Исследование долговечности железобетонных блоков обделки тоннелей на примере казанского метрополитена	286
Камалова З.А., Ермилова Е.Ю. Минеральные пигменты из местного сырья Республики Татарстан	294
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Вдовин Е.А., Буланов П.Е., Строганов В.Ф. Повышение характеристик дорожных цементогрунтов кремнийорганическими соединениями	301
Кареева Ю.Р., Николаева Р.В. Организация дорожного движения вблизи образовательных учреждений	310
Комарова Т.К. Влияние положения пешеходного перехода на главной дороге на пропускную способность нерегулируемого примыкания	318
Смирнов Д.С., Буланов П.Е., Утяшева Л.Р. Физико-механические характеристики резино-битумных вяжущих	328
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Денисихина Д.М. Расчет коэффициента воздухообмена методами математического моделирования параметров микроклимата	337
Кареева Ю.Р., Зиганшин А.М., Чухлова М.Б. Постановка задачи о течении в узле, состоящем из вытяжного отверстия и колена на 90°	346
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	357

CONTENTS

BUILDING STRUCTURES, HOUSES	
Shakirov A. R., Suleymanov A. M. Research of adhesive joints between concrete and carbon fiber on epoxy adhesives of various configurations	8
Koiankin A.A., Mitasov V.M. Results of experimental studies of the stress-strain state of a prefabricated monolithic frame	17
Gainetdinov R.G., Gimranov L.R., Sibgatullin M.T. Steel polygonal arch structures from standardized elements	25
Petrov A.S., Ivantsov A. I. A simplified method for determining the location of a local source of structural noise in a building under operating conditions	33
Shakirov A. R., Shakirzyanov F. R., Suleymanov A. M. Investigation of a numerical model of the stress-strain state of a reinforced concrete beam strengthened with carbon fiber	43
FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES	
Koroleva I.V. Study of the time factor influence on the strength of clays	53
Nurieva D.M., Agafonov I.V. Analysis of experience in design and construction of underground structures using "diaphragm wall"	61
ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY. HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION	
Nadyrova Kh.G., Nurmukhametov V.V., Suleymanov A.M. The role of the provincial architect Foma Ivanovich Petondi as a manager and an urban planner in the development of Kazan	73
Bayram Bekir M. Typological features of historical residential buildings of the city of Samsun: architectural, historical and cultural significance	85
Khabibulina A.G., Suleymanov A.M., Babenko R.N. Facades of historic stone masonry buildings: a review of restoration methods and techniques	96
Latypova M.S. Semantic approach to the design of open urban public spaces in residential areas (on the example of the Republic of Tatarstan)	109
Sattarov A.G. Formation of modern Islamic religious architecture in Russia	120
Sibgatullina L.Sh., Suleymanov A.M. Reconstruction of the Uritsky Park in Kazan: history of creation, problems, principles	133
Nadyrova D.A. Commercial apartment houses of the Old Tatar Quarter of Kazan: - definition of architectural identity on the example of the commercial apartment complex of the Apanaevsky Compound	143
Stepanchuk A.V., Suleymanov A.M., Petrushin M.P. On the issue of reorganization of the industrial territory of the Flax Mill in Kazan	153
Voronina A.S., Persova S.G. On the issue of dating of construction periods of the Church of St. John Chrysostom in the village of Ivanovskoye	165
Suleymanov A.M., Suleymanova E.D., Shireeva D.G. Functional and technological features of specialized testing centers for technical systems	176
Nadyrova H.G., Khairullina A.T., Nadyrova D.A. Industrial complexes of the "Yagodnaya Sloboda" district of Kazan: historical architectural and Town-planning aspect of development up to the beginning of the twentieth century	188
URBAN PLANNING, RURAL PLANNING	
Ponomarev E.S., Evgenieva E.V. Integrated development of university campuses based on architectural planning models	205
Yilmazsoy B.E. Exploring the Architecture of Beyoghlu Historic Areas in Istanbul: Open Exploration of the Central City	216
ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY	
Saifullin I.F., Sabirzyanova A.R. Spatial code of the design process and architectural solutions	225
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Makarenko S. V., Gonzhitov A. B., Khokhryakov O. V., Khozin V. G. Assessment of the influence of technological factors on the properties of building ceramics based on ash and slag mixtures at the thermal power plant of «Irkutskenergo»	233
Valiev A.I., Shakirzyanov F.R., Suleymanov A.M., Nizamov R.K. Estimation of stress-strain state of hybrid polymer composites manufactured by vacuum infusion method	241
Shakhov S.A. Rheological behavior of molding compounds from silica modified clay-ash mixture	255
Khomyakov A.A., Fomin A.Y., Nizamov R.K. Bituminous binder modified with polysulfide based on the mixture of aliphatic amines and higher fatty acids	267

Shakirzyanov F.R., Valiev A.I., Suleymanov A.M., Nizamov R.K. Numerical modeling of stress-strain state of hybrid composites	275
Smirnov D.S., Fomina Y.A. Study of the durability of reinforced concrete blocks for tunnel lining on the example of the Kazan Metro	286
Kamalova Z.A., Ermilova E.Yu. Mineral pigments from local raw materials of Tatarstan Republic	294
DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRANSPORT TUNNELS	
Vdovin E.A., Bulanov P.E., Stroganov V.F. Improving the characteristics of road soil-cement with organosilicon compounds	301
Kareeva Yu.R., Nikolaeva R.V. Organization of traffic near educational institutions	310
Komarova T.K. The influence of the position of a pedestrian crossing on the main road on the capacity of an unsignalized junction	318
Smirnov D.S., Bulanov P.E., Utyasheva L.R. Physical and mechanical characteristics of rubber-bitumen binders	328
HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS AND LIGHTING	
Denisikhina D.M. Calculation of the air exchange coefficient based on CFD-simulation methods	337
Kareeva Yu.R., Ziganshin A.M. , Chukhlova M.B. Statement of the problem of the flow in a node consisting of an exhaust hole and a 90° elbow	346
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	357

УДК: 624.012
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_8
EDN: AIRICV

Выбор конструктивно-подобного образца для испытания на ползучесть клеевых соединений элементов усиления конструкций

А. Р. Шакиров[1], А. М. Сулейманов[12]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Главной проблемой при исследовании адгезионных соединений между бетоном и углепластиком на эпоксидных адгезивах на прочность является то, что разрушение практически всегда происходит отрывом бетона. Таким образом исследуется не прочность самого адгезионнго слоя, а прочность бетона на отрыв. Для изучения долговечности таких соединений целесообразно исследование их ползучести. Целью данной работы является определение наиболее подходящего типа образца для исследования адгезионного соединения на ползучесть. Задачами исследования являются: разработка типов образцов с различными конфигурациями адгезионных соединений, определение прочности образцов, исследование поведения образцов под действием постоянной нагрузки на ползучесть.
Результаты. Результаты исследования показали, что адгезионные соединения на образцах с сравнительно маленькими адгезионными площадями имеют довольно большую жесткость по отношению к самому бетонному субстрату. Прочность бетонной части значительно отстает от прочности самого адгезива и углепластика. Скорость развития ползучести на таких образцах предельно мала.
Выводы. Деформативность образцов с сравнительно маленькой адгезионной площадью не позволяет их применение для прогнозирования ползучести, так как на данных образцах скорость развития деформаций крайне низкая, а влияние температурного воздействия не значительная. Для исследования ползучести наиболее подходящим типом образцов является конструктивно подобный образец – железобетонная балка, усиленная системой внешнего армирования из углепластика.

Ключевые слова: внешнее армирование, усиление, углепластик, эпоксидный адгезив, ползучесть

Для цитирования: Шакиров А. Р., Сулейманов А. М. Выбор конструктивно-подобного образца для испытания на ползучесть клеевых соединений элементов усиления конструкций // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.8-16, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_8, EDN: AIRICV

Selection of a structurally similar sample for creep testing of adhesive joints of structural reinforcement elements

A. R. Shakirov[1], A.M. Suleymanov[12]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* The main problem in the strength study of adhesive joints between concrete and carbon fiber on epoxy adhesives is that in most cases the destruction occurs by the separation of concrete. Thus, it is not the strength of the adhesive layer itself that

is being investigated, but the strength of concrete for separation. To study the durability of such joints, it is advisable to study their creep. The purpose of this work is to determine the most suitable type of sample for the creep test of an adhesive joint. The objectives of the study are: the development of types of samples with different configurations of adhesive joints, the determination of the samples strength, the study of the samples behavior under the influence of a constant creep load.
Results. The results of the study showed that adhesive joints on samples with relatively small adhesive areas have a rather high rigidity in relation to the concrete substrate itself. The strength of the concrete part lags far behind the strength of the adhesive and carbon fiber itself. The rate of creep development on such samples is extremely low.
Conclusions. The deformability of samples with a relatively small adhesive area does not allow their use to predict creep, since the rate of deformation development on these samples is extremely low, and the effect of temperature exposure is not significant. To study creep, the most suitable type of samples is a structurally similar sample – a reinforced concrete beam reinforced with an external reinforcement system made of carbon fiber.

Keywords: external reinforcement, reinforcement, carbon fiber, epoxy adhesive, creep

For citation: Shakirov A. R., Suleymanov A. M. Research of adhesive joints between concrete and carbon fiber on epoxy adhesives of various configurations // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.8-16, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_8, EDN: AIRICV

1. Введение

Системы внешнего армирования железобетонных элементов из углеродных композитов успешно применяются при усилении конструкций зданий [1-3] и конструкций мостовых сооружений [4-6].

Как известно по многочисленным исследованиям в области систем внешнего армирования (СВА) [7-9], при определении прочности адгезионного соединения между бетоном и углепластиком разрушение практически всегда происходит отрывом бетона [10, 11]. Очевидно, что при таком виде разрушения определяется не прочность самого адгезионного слоя, а прочность бетона на отрыв. Согласно существующим исследованиям, адгезионное соединение между бетоном и эпоксидным адгезивом имеет сложную природу. В особенности образуются новые химические связи [12]. Учитывая вышесказанное, при изучении долговечности адгезионного слоя между бетоном и эпоксидным адгезивом необходимо учитывать природу адгезионного соединения. Для исследования долговечности СВА разработана методика прогнозирования ползучести методом температурно-временной аналогии, позволяющая учитывать совместную работу адгезионного соединения «бетон-эпоксидный адгезив-углепластик» [14].

Для разработки методики прогнозирования ползучести методом аналогий необходимо определить тип образца, применяемого для испытаний. Образец выбирается исходя из условия соответствия следующим требованиям:

1. Образцы должны обеспечить совместную работу системы, состоящей из бетонного основания, эпоксидного адгезива и углепластика.
2. Образцы должны моделировать реальную работу адгезионного слоя в конструкции при напряженно-деформированном состоянии.
3. Деформативность образца должна обеспечить достаточное предельное значение во всех заданных температурах испытания для возможности отработки всех температурных циклов и построения изотермических кривых.

В изгибаемых элементах конструкций адгезионный слой воспринимает усилия растяжения. Для экспериментальных исследований изготовлены три вида образцов, моделирующих данное НДС адгезива:

1. Железобетонная балка, усиленная СВА в растянутой зоне [15].
2. Образец-кубик с приклеенной углекомпозитной ламелью внахлёст.
3. Шарнирная балочка из двух бетонных призм, соединенных шарнирно при помощи углекомпозитной ламели.

Целью данной работы является выбор конструктивно-подобного образца для испытания на ползучесть клеевых соединений элементов усиления конструкций.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изготовление образцов для экспериментального исследования.
2. Определение кратковременной прочности каждого образца.
3. Анализ характера разрушения и деформативности образцов.
4. Проведение испытаний на ползучесть со ступенчатым повышением температурного воздействия.

2. Материалы и методы

Для определения кратковременной прочности и выявления масштабного фактора изготовлены образцы системы «бетон – эпоксидный адгезив – углепластик». Для испытаний необходимо 3 серии образцов с шириной склеивания 40, 60, 80 мм, длина склеивания на всех образцах одинакова – 40 мм (рис. 1а). Изготавливаются кубики из бетона В45 размерами сторон 100 мм. Для изготовления образцов применялись углеткань FibArm Tape 230/300 и эпоксидный адгезив FibArm Resin 230+.

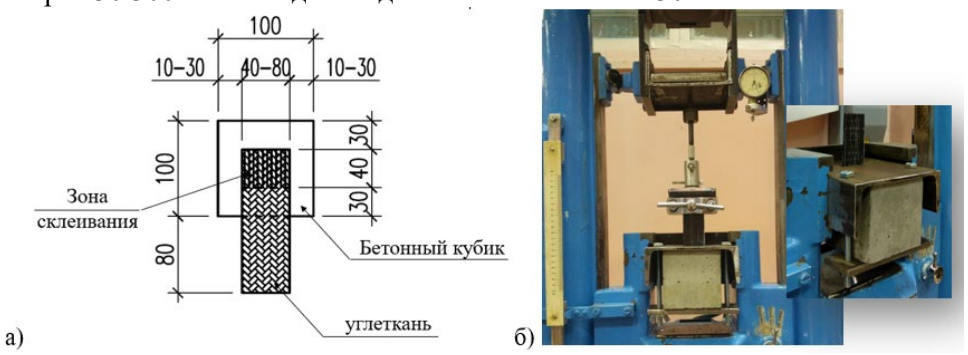


Рис. 1. Размеры образцов (а) и их испытание (б) (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Sample sizes (a) and their testing (b) (illustration by the authors)

Бетонные кубики шлифуются алмазной коронкой, из поверхности удаляется лишняя пыль. Далее поверхность кубика обезжиривается ацетоном и пропитывается клеем. Для предотвращения скалывания при отрыве вокруг склеиваемой зоны необходимо оставлять не проклеенные участки, которые при пропитки клеем заклеиваются клейкой лентой (скотчем).

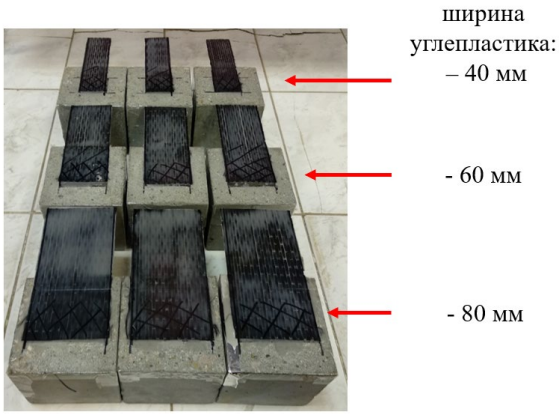


Рис. 2. Готовая партия образцов (иллюстрация авторов)
Fig. 2. Finished batch of samples (illustration by the authors)

Для изготовления образцов берется подложка из политерафталатовой пленки, где делается разметка под нужные размеры. На подложке клеем пропитываются листы углеткани. По заранее размеченным линиям сверху устанавливаются пропитанные клеем кубики. Готовые образцы приведены на рисунке 2.

После достижения клеем полной полимеризации, образцы испытываются на сдвиг при растяжении на разрывной машине при скорости нагружения 10 мм/мин (рис. 1б).

По результатам кратковременных испытаний определяется образец с наиболее оптимальными размерами шва. Далее изготавливается дополнительная партия образцов с выбранными параметрами. Образцы устанавливаются на испытательный стенд под постоянной нагрузкой 70% от средней разрушающей при температуре 20℃. Через каждые 30 минут температуру испытаний ступенчато повышают на 5℃. Испытание продолжается до разрушения образца либо до остановки ползучести.

Для определения прочности адгезионного соединения на растяжение при изгибе изготавливались образцы из двух стандартных бетонных призм 1 (рис. 3а) сечением 40х40 мм и длиной 160 мм. Класс бетона В40. Две призмы соединялись между собой шарнирно при помощи углепластика FibArm Tape 230/300 2 и эпоксидного адгезива FibArm Resin 230+ 3 (рис. 3а). Для образования шарнира в сжатой зоне между двумя призмами предусмотрен металлический цилиндр 5 (рис. 3а) диаметром 5 мм. Цилиндр установлен привязкой 75 мм от сжатой грани образца. Для предотвращения смятия в зоне установки шарнира установлены металлические пластины 7 толщиной 1 мм. Пространство между двумя призмами заполнен вспененным материалом 6. Чтобы предотвратить скалывание угла бетонной призмы по краям рабочей зоны предусмотрены непроклеенные зоны. Для этого эти зоны проклеивали скотчем 4. Образцы изготавливались сериями длиной адгезионного соединения 76,5, 40, 30, 15, 10 мм. В каждой серии изготовлено по 3 образца.

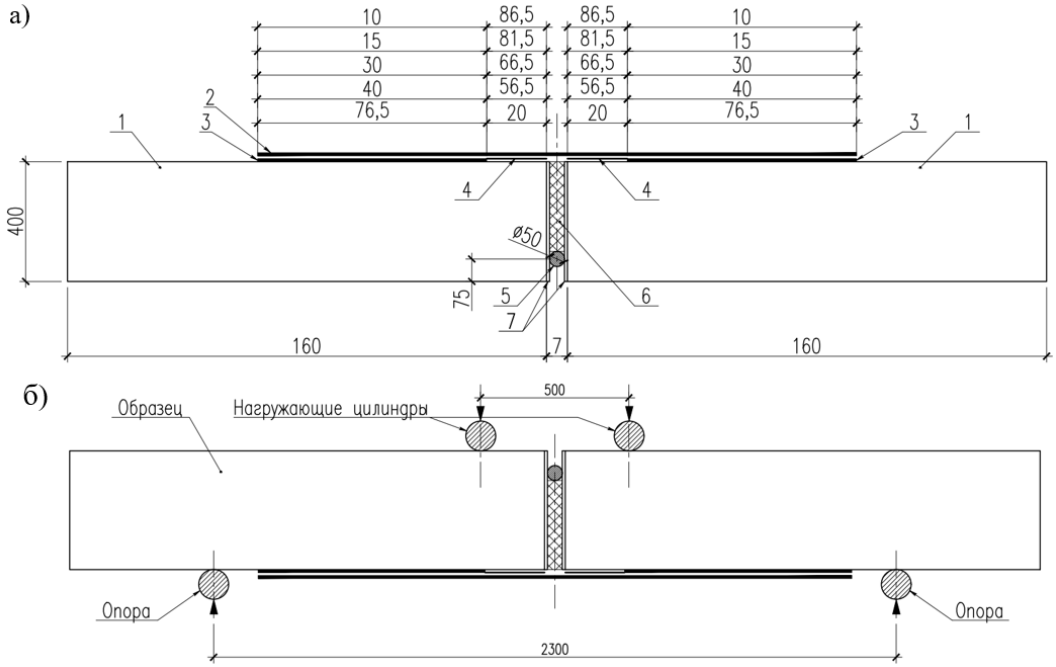


Рис. 3. Схема шарнирного образца из двух призм (а) и схема нагружения (б) (иллюстрация авторов)

Fig. 3. A diagram of a hinged sample of two prisms (a) and a loading diagram (b) (illustration by the authors)

Образцы испытывались на изгиб по схеме, указанной на рисунке 3б. Определялись кратковременная прочность образцов и фиксируется характер разрушения адгезионного шва.

По результатам кратковременных испытаний определяется образец с наиболее оптимальными размерами шва. Далее изготавливается дополнительная партия образцов с выбранными параметрами. Образцы устанавливаются на испытательный стенд под постоянной нагрузкой 70% от средней разрушающей при температуре 20℃. Через каждые 30 минут температуру испытаний ступенчато повышают на 5℃. Испытание продолжается до разрушения образца либо до остановки ползучести.

3. Результаты и обсуждение

По результатам испытаний на образцах с шириной склеивания 40 мм разрушение преимущественно происходит по поверхности. На образцах с большей шириной

склеивания – это 60 и 80 мм – преимущественно происходит смешанное разрушение, то есть разрушение происходит и по бетону, и по поверхности (рисунок 4).

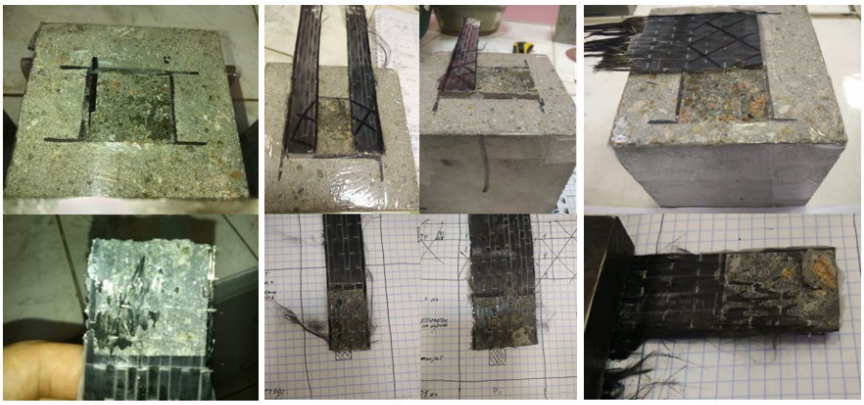
Таблица 1

Несущая способность образцов на растяжение

Ширина склеивания, мм	№	Разрушающая нагрузка Р, кг	Площадь, $см^2$	Касательные напряжения τ_i, $кг/см^2$	Среднее значение касательных напряжений τ, $кг/см^2$
40	1	440	13.6	32.35	29.91
	2	425	14.78	28.76	
	3	438	15.31	28.61	
60	1	721	21	34,33	34,43
	2	719	19,49	36,89	
	3	720	22,46	32,06	
80	1	1137	32,1	35,42	34,9
	2	1080	31,4	34,39	
	3	1105	31,68	34,88	

При значительно больших нагрузках площадь разрушения не велика, так как углеволокно отклеивается не полностью, а частично (например, отклеивание 2/3 ширины углеткани). Это можно объяснить тем, что система сопротивляется растяжению изначально всей площадью склеивания, но разрушение происходит для того условного участка, где наименьшее сопротивление отрыву. Что в свою очередь может возникнуть из-за ряда причин:

- различная прочность сцепления по площади склеивания (может возникнуть из-за неоднородности структуры бетона, влияющей на проникновение клея в бетон);
- неравномерное проскальзывание углеткани из захваток, приводящее к исключению отдельных участков из работы либо их ослабление.



40 мм 60 мм 80 мм

Рис. 4. Результаты испытаний образцов на растяжение (иллюстрация авторов)
Fig. 4. Results of tensile testing of samples (illustration by the authors)

Для испытаний на ползучесть был выбран образец с шириной шва 40 мм. На образец была приложена постоянная нагрузка 305 кг, что равно 70% от средней разрушающей нагрузки в 435 кг. Начальная температура эксперимента составила 20°С. В результате эксперимента в течении 60 минут воздействия постоянной нагрузки при начальной температуре 20 °С не было зафиксировано изменения значений деформации. Таким образом данный тип образца нельзя применять для прогнозирования методом температурно-временной аналогии.

Результаты испытаний шарнирных образцов балочек на растяжение при изгибе показали, что при длине адгезионного шва 30 мм и больше разрушение происходит изломом бетонной балочки вне зоны усиления. Разрушение образцов с длиной

адгезионного шва 10 мм имеет различный характер (рисунок 5). У первого образца разрушение произошло отрывом бетона по всей ширине балочки на глубину до 1 мм, на втором образце разрушение шва имеет смешанный характер, т. е. наблюдается отрыв бетона и отклеивание по поверхности. Такое отличие характера разрушения отражается и в показаниях прочности – большой разброс значений. У образцов длиной шва 15 и 20 мм разрушение имеет в основном смешанный характер. Относительно стабильное разрушение адгезионного шва помогло добиться меньшего разброса значений прочности.

Таблица 2

Несущая способность образцов на растяжение при изгибе

Длина склеивания, мм	№	Разрушающая нагрузка Р, кг	Площадь, $см^2$	Касательные напряжения τ_i, $кг/см^2$	Среднее значение касательных напряжений τ, $кг/см^2$
30	1	463	12	38,58	38,04
	2	450		37,50	
20	1	413	8	51,63	50,13
	2	389		48,63	
15	1	326	6	54,33	58,42
	2	375		62,50	
10	1	170	4	42,50	58,13

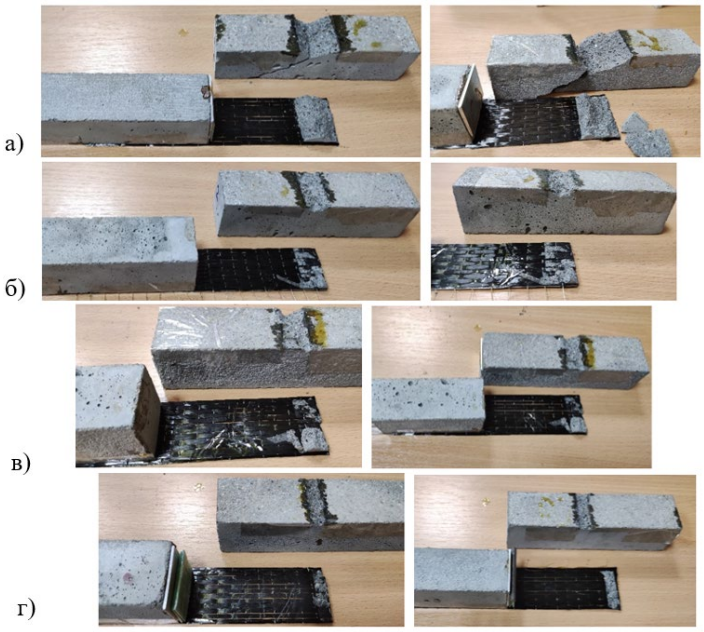


Рис. 5. Результаты испытаний шарнирных образцов на растяжение при изгибе: а) длина шва 30 мм, б) длина шва 20 мм, в) длина шва 15 мм, г) длина шва 10 мм (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Test results of hinge samples for tensile bending: a) seam length 30 mm, b) seam length 20 mm, c) seam length 15 mm, d) seam length 10 mm (illustration by the authors)

Для испытаний на ползучесть был выбран образец с шириной шва 20 мм. На образец была приложена постоянная нагрузка 280 кг, что равно 70% от средней разрушающей нагрузки в 400 кг. Начальная температура эксперимента составила 25°С. Температуру испытаний повышали ступенчата на 5°С каждые 30 минут. Эксперимент проводился до остановки развития ползучести образца.

Из графика ступенчатой ползучести (рисунок 6) видно, что основной рост деформаций наблюдается в момент нагревания образца за короткий промежуток времени около 5-ти минут. Далее же развитие ползучести останавливается. Вероятно, наблюдаемые деформации вызваны не ползучестью адгезионного шва, а распрямлением пропитанной эпоксидным адгезивом углеткани в середине пролета образца (между

швами) при нагревании. Таким образом данное поведения образца затрудняет ее применением для прогнозирования методом температурно-временной аналогии.

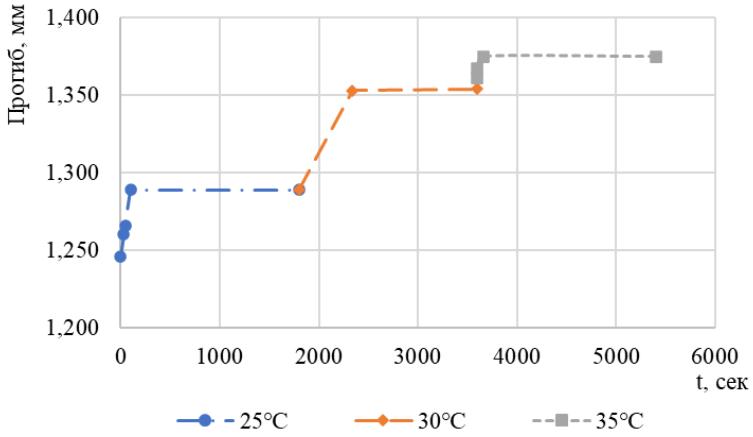


Рис. 6. График ступенчатой ползучести шарнирного образца (иллюстрация авторов)
Fig. 6. Graph of the step creep of the hinge sample (illustration by the authors)

Результаты исследования НДС железобетонной балки (рисунок 7), усиленной углепластиком подробно представлены в статье [15]. По результатам экспериментального исследования с применением тензометрии выявлено поведение железобетонной балки, усиленной СВА, под действием постоянной нагрузки. По сравнению с рассмотренными в данной статьи образцами с уменьшенными габаритами, под воздействием длительной нагрузки образец-балка имеет существенную ползучесть. Под воздействием температуры ползучесть образца ускоряется. При этом, при ступенчатом повышении температуры наблюдается ступенчатое развитие ползучести.

Рис. 7. Образец-балка усиленная СВА (иллюстрация авторов)
Fig. 7. Sample - beam reinforced with carbon fiber (illustration by the authors)

Очевидно, что выявленные отличия в поведении деформативности, в особенности ползучести, адгезионного слоя для различных типов образцов обусловлено именно характером его работы. Под воздействием нагрузки на растяжение для образца-кубика и нагрузки на растяжение при изгибе для шарнирного образца под адгезионным слоем не образуются микротрещины в бетоне. В случаи с образцом-кубиком бетон работает преимущественно на отрыв. На шарнирном образце изгибающие усилия воспринимаются исключительно углеволокном за счет шарнира. А сам бетон работает на скалывание. При этом, вероятно, разрушение адгезионного соединения по бетону происходит на много меньшим усилием, чем способно воспринимать само адгезионное соединение. Таким образом, нагрузка, подобранная, опираясь на полученные данные по результатам определения прочности соединения не оказывает существенного влияния на ползучесть адгезионного соединения.

Работа железобетонной балки имеет более сложный характер. Под воздействием нагрузки балка прогибается, образуются растягивающие усилия, в растянутой зоне бетона образуются микротрещины. Через адгезионный слой усилия растяжения передаются на углепластик. В связи со значительной длиной растянутой зоны и кривизны изгиба по всей длине адгезионный слой воспринимает усилия различной величины и направленности. Таким образом сопротивление растяжению оказывает и сама железобетонная балка, и углепластик. С учетом большего сопротивления растяжению углеволокном, чем бетоном в адгезионном слое образуются пластические деформации [15], развитие которых и способствует ползучести самой железобетонной балки, усиленной СВА.

4. Заключение

Как показывают результаты экспериментальных исследований, деформативность описанных в данной статьи образцов не позволяет их применение для прогнозирования ползучести, так как на данных образцах скорость развития деформаций крайне низкая, а влияние температурного воздействия не значительная.

Наиболее подходящим типом образца для применения при испытаниях методом температурно-временной аналогии является железобетонная балка, усиленная СВА. Характер НДС данных образцов позволяет использовать широкий диапазон внешних воздействий при моделировании ускоренных испытаний. Что в свою очередь дает возможность максимально точно учитывать эксплуатационный режим конструкции для прогнозирования долговечности в режиме ползучести.

Список литературы/ References

1. Seo, Soo-Yeon. (2013). Structural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Fiber Reinforcement Polymer Plate. Applied Mechanics and Materials. 302. 338-342. 10.4028/www.scientific.net/AMM.302.338.
2. Mitsui, Y. & Nurakami, K. & Takeda, K. & Sakai, H.. (1998). Shear reinforcement of RC beams using carbon fiber sheets. 924-925.
3. В.И. Римшин, Л.А. Сулейманова, П.А. Амелин, А.А. Крючков. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, имеющих повреждения арматуры вследствие контакта с хлоридной агрессивной средой // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 138-146. [V.I. Rimshin, L.A. Suleymanova, P.A. Amelin, A.A. Kryuchkov. Experimental studies of bent reinforced concrete elements with reinforcement damage due to contact with chloride aggressive medium // Expert: theory and practice. 2023. No. 3 (22). P. 138-146.] doi:10.51608/26867818_2023_3_138.
4. А.А. Евдокимов, Э.Ш. Имаметдинов, С.С. Малаховский. Усиление строительных конструкций из бетона системой внешнего армирования из углепластика // ТРУДЫ ВИАМ №10 (92) 2020. [A.A. Evdokimov, E.Sh. Imametdinov, S.S. Malakhovskiy. Strengthening concrete building structures via external reinforcement system from carbon plastic// PROCEEDINGS OF VIAM No. 10 (92) 2020.] DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-73-80.
5. Кугаевский Н.М., Овчинников И.И. Оценка эффективности усиления железобетонных балок пролетных строений автодорожных мостовых сооружений полимерными композиционными материалами // Вестник Евразийской науки, 2021 №2, https://esj.today/PDF/09SAVN221.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. [Kugaevskyi N.M., Ovchinnikov I.I. (2021). Assessment of the effectiveness of strengthening of reinforced concrete beams of superstructures of road bridges with polymer composite materials. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(13). Available at: https://esj.today/PDF/09SAVN221.pdf (in Russian)]
6. Regalado, Arturo & Carpenter, Brice & Jáuregui, David & Weldon, Brad. (2017). Performance Evaluation of a Reinforced Concrete Slab Bridge Retrofitted with Carbon Fiber Reinforcement Polymer Laminate System. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2642. 68-76. 10.3141/2642-09.
7. Фролов К.Е. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных композитными материалами // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 3. С. 237–242. [Frolov K.E. Experimental studies of reinforced concrete structures of hydraulic facilities reinforced with composite materials // Construction mechanics of engineering structures and structures. 2019. Vol. 15. No. 3. P. 237-242.] http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-3-237-242
8. Гапонов В.В. Экспериментальные исследования усиления плит перекрытия коллекторных тоннелей сетками из углеродных волокон в матрице на минеральной основе // Промышленное и гражданское строительство. - 2011. - №11. – С. 69-71. [Gaponov V.V. Experimental studies of reinforcement the floor slabs

of collector tunnels with carbon fiber meshes in a mineral-based matrix // Industrial and Civil Construction. - 2011. - №11. – P. 69-71.]

9. Овчинников И.И. Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 1. Отечественные эксперименты при статическом нагружении // Интернет-журнал "Науковедение". - 2016 г.. - №3 : Т. 8. [Ovchinnikov I.I. Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhalkin E.S. Analysis of experimental studies on strengthening reinforced concrete structures with polymer composite materials. Part 1. Domestic experiments with static loading // Online journal "Science Studies". - 2016.. - No. 3 : Vol. 8.]
10. Смоляго Г. А., Обернихина Я. Л. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных углепластиком // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022, №4 [Smolyago G. A., Obernikhina Ya. L. Strength and deformability of bent reinforced concrete elements reinforced with carbon fiber // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022, №4]
11. Маилян Д.Р., Польской П.П. Прочность и деформативность вновь усиленных композитными материалами балок, при различных варьируемых факторах // Электронный научный журнал Инженерный вестник Дона, №2, 2013 – Режим доступа: ivdon@ivdon.ru. [Mailyan D.R., Polskoy P.P. Strength and deformability of beams newly reinforced with composite materials, under various variable factors // Electronic scientific journal Engineering Bulletin of the Don, No. 2, 2013 – Access mode: ivdon@ivdon.ru]
12. Djouani, Fatma & Connan, Carole & Delamar, Michel & Chehimi, Mohamed & Benzarti, Karim. (2011). Cement paste–epoxy adhesive interactions. Construction and Building Materials. 25. 411-423. 10.1016/j.conbuildmat.2010.02.035.
13. Шилин А.А., Зайцев М.В., Картузов Д.В. Пособие по усилению железобетонных конструкций с использованием композитных материалов. – Москва, 2017 [Shilin A.A., Zaitsev M.V., Kartuzov D.V. Manual on strengthening reinforced concrete structures using composite materials. – Moscow, 2017]
14. Shakirov, Almaz & Suleymanov, Alfred. (2021). Prediction of Creep for a Reinforced Concrete Beam Strengthened with an External Reinforcement System Using the Stepped Isothermal Method. 10.1007/978-3-030-80103-8_12.
15. Сулейманов А.М., Шакиров А.Р. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных балок, усиленных углепластиком // Строительные материалы. 2023. № 4. С. 10–17. [Suleymanov A.M., Shakirov A.R. Experimental study of the stress-strain state of reinforced concrete beams reinforced with carbon fiber. 2023. No. 4. P. 10-17.] DOI: https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-10-17

Информация об авторах

Шакиров Алмаз Райнурович, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alma-94@mail.ru
Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru

Information about the authors

Almaz R. Shakirov, graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: alma-94@mail.ru
Alfred M. Suleymanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corr.-m. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru

УДК: 69.01
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_17
EDN: ARQEHE

Результаты экспериментальных исследований напряжённо-деформированного состояния сборно-монолитной рамы

А.А. Коянкин[1], В.М. Митасов
[1]Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Сборно-монолитное домостроение в России и других странах в последние годы активно развивается. Наблюдается постоянный рост объёма строительства из сборно-монолитного железобетона. Наряду с этим недостаточно изучены особенности процесса деформирования сборно-монолитных зданий, возникающие в процессе монтажа. Цель экспериментальных исследований – изучение особенностей формирования напряжённо-деформированного состояния плоской рамы сборно-монолитного каркаса с учётом поэтапного монтажа и загружения. Задачами исследования являются: разработка методики проведения эксперимента поэтапного монтажа и загружения сборно-монолитной рамы; проведение эксперимента; анализ полученных результатов.
Результаты. Экспериментальные исследования сборно-монолитной плоской рамы учитывали поэтапность монтажа и загружения. Первый этап – монтаж сборных элементов и последующее их загружение нагрузкой, моделирующей вес монолитного бетона и опираемых элементов. Второй этап (нагрузка первого этапа не снимается) – укладка монолитного бетона, набор им требуемой прочности и включение его в процесс деформирования, приложение дополнительной нагрузки, моделирующей вес конструкций пола, перегородок, ненесущих стен и эксплуатационную нагрузку. В результате проведённых исследований определены особенности формирования напряжённо-деформированного состояния сборно-монолитного каркаса. Выявлено изменение характера формирования напряжённо-деформированного состояния каркаса сборно-монолитного здания после укладки монолитного бетона и вовлечения его в процесс деформирования.
Выводы. Проведённые экспериментальные исследования указывают, что процесс монтажа и поэтапное вовлечение в процесс деформирования как отдельных элементов сборно-монолитного каркаса, так и составляющих этих элементов меняет характер формирования напряжённо-деформированного состояния сборно-монолитного каркаса.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, сборно-монолитные конструкции, экспериментальные исследования, плоская рама, монтаж, напряжённо-деформированное состояние, прогибы, трещиностойкость, деформации бетона

Для цитирования: Коянкин А.А., Митасов В.М. Результаты экспериментальных исследований напряжённо-деформированного состояния сборно-монолитной рамы // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.17-24, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_17, EDN: ARQEHE

Results of experimental studies of the stress-strain state of a prefabricated monolithic frame

A.A. Koiankin[1], V.M. Mitasov
[1]Siberian federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Prefabricated monolithic housing construction in Russia and other countries has been actively developing in recent years. There is a constant increase in the

volume of construction from precast-monolithic reinforced concrete. Along with this, the features of the deformation process of prefabricated monolithic buildings that arise during installation have not been sufficiently studied. The purpose of experimental research is to study the peculiarities of the formation of the stress–strain state of a flat frame of a prefabricated monolithic framework, taking into account the phased installation and loading. The objectives of the study are: development of a methodology for conducting an experiment of step-by-step installation and loading of a prefabricated monolithic frame; conducting an experiment; analyzing the results obtained.
Results. Experimental studies of a prefabricated monolithic flat frame took into account the stages of installation and loading. The first stage is the installation of prefabricated elements (columns, prefabricated parts of crossbars) and their subsequent loading with a load simulating the weight of monolithic concrete and supported elements. The second stage (the load of the first stage is not removed) is laying of monolithic concrete, the set of the required strength and inclusion in the deformation process, the application of an additional load modeling the weight of floor structures, partitions, curtain walls and operational load. As a result of the conducted research, the features of the formation of the stress-strain state of the prefabricated monolithic frame are determined. A change in the nature of the formation of the stress-strain state of the frame of a prefabricated monolithic building after laying monolithic concrete and involving it in the deformation process has been revealed.
Conclusions. The conducted experimental studies indicate that the process of installation and step-by-step involvement in the deformation process of both individual elements (columns, crossbars) of the prefabricated monolithic frame and the components of these elements (prefabricated and monolithic parts of the crossbar) determines the nature of the formation of stress-strain of the prefabricated monolithic frame.

Keywords: reinforced concrete structures, prefabricated monolithic structures, experimental studies, flat frame, installation, stress-strain state, deflections, crack resistance, concrete deformations

For citation: Koiankin A.A., Mitasov V.M. Results of experimental studies of the stress-strain state of a prefabricated monolithic frame // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.17-24, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_17, EDN: ARQEHE

1. Введение

В последние годы сборно-монолитное домостроение в мировой практике строительства активно развивается, что выражается не только в растущем объёме данного вида строительства, но и в увеличивающемся интересе к данной конструктивной системе со стороны учёных и инженеров. В настоящее время разработаны разнообразные варианты устройства конструктивных систем сборно-монолитных зданий [1–3]. Проводятся научные исследования (теоретические, численные и экспериментальные) по изучению различных особенностей процесса деформирования как отдельных сборно-монолитных элементов, так и зданий в целом [4-6]. Кроме того, проводятся исследования отдельных узлов конструктивных систем сборного и сборно-монолитного железобетона [7, 8].

Важной конструктивной особенностью, присущей зданиям из сборно-монолитного железобетона, помимо поэтапного вовлечения в процесс деформирования здания его отдельных элементов (колонн, стен, ригелей, перекрытия и т. д.), является и постепенное включение в процесс деформирования отдельных частей конструктивных элементов (например, в сборно-монолитных ригелях и перекрытиях в процесс восприятия нагрузки включается вначале сборная часть, а затем, после набора требуемой прочности, в процесс деформирования вовлекается монолитная часть). В конечном итоге поэтапное вовлечение в процесс деформирования элементов приводит к существенному изменению напряжённо-деформированного состояния (НДС) каркаса в целом, в сравнении со случаем, когда процесс возведения не учитывается. При этом более ранее включение в работу сборных частей элементов, нежели монолитного бетона, приводит к возникновению в них (сборные части) начальных усилий.

Изучению вопросов учёта процесса монтажа при выполнении расчётов строительных конструкций каркаса здания посвящены работы [9, 10], где авторы указывают на существенное отличие НДС каркаса здания в случае учёта и не учёта процесса монтажа при выполнении расчёта строительных конструкций. В частности, в работе [10] А. В. Перельмутер указал, что «большинство из действий, выполненных в процессе монтажа, приводит к изменению расчётной схемы и/или напряжённого и деформированного состояния системы». Важность учёта процесса монтажа при расчёте строительных конструкций указана и в работах [11, 12]. В работе [13] представлены результаты проведённых авторами статьи экспериментальных и численных исследований по изучению влияния поэтапного монтажа и вовлечения в процесс деформирования сборной и монолитной частей сборно-монолитного изгибаемого элемента [13]. Полученные результаты показали, что поэтапное вовлечение в процесс деформирование отдельных частей сборно-монолитного элемента приводит к существенному отличию НДС от сборно-монолитной конструкции, где происходит единовременное деформирование элемента. Причём несущая способность увеличивается до 18% при поэтапном деформировании. Аналогичные результаты были получены при изучении особенностей формирования НДС железобетонных элементов, усиление которых происходит в процессе реконструкции под действием нагрузки [14, 15].

На основании сказанного выше была сформулирована следующая цель экспериментальных исследований – определить особенности НДС сборно-монолитного каркаса с учётом поэтапного монтажа и загружения.

Объектом исследований является сборно-монолитный каркас, а предмет исследований – особенности формирования НДС сборно-монолитного каркаса.

Для достижения цели решены задачи: разработана методика проведения экспериментальных исследований сборно-монолитной плоской рамы; проведены экспериментальные исследования; проведён анализ результатов эксперимента.

2. Материалы и методы

Экспериментальные исследования выполняли на двух плоских двухэтажных двухпролётных сборно-монолитных рамах Рсм1 и Рсм2 (рис. 1). Конструктивно рамы идентичны друг другу. Сборные части изготовлены на заводе железобетонных изделий из тяжёлого бетона класса В 25: колонны высотой в 2 этажа (70х70х1200(h) мм), армированные четырьмя стержнями продольной арматуры Ø8А400 и расположенной с шагом 50 мм поперченной арматурой Ø4В500 (рис. 1,*а*); сборные части ригелей (70х70(h)х1410 мм), армированные нижней продольной арматурой 3Ø3В500 и расположенной с шагом 100 мм в 2 ряда поперечной арматурой Ø3В500 (рис. 1,*б*). Каждая рама включает 2 пролёта по 1500 мм и 2 этажа по 600 мм.

Монтаж и загружение рам происходило в лаборатории испытания строительных конструкций Сибирского федерального университета в 2 этапа:

1-й этап (рис. 1,*а*, 1,*в*):

– монтаж сборных элементов рам Рсм1 и Рсм2 друг напротив друга на расстоянии 2,0 м. В рамках 1-го этапа плоская рама образована за счёт жёсткого защемления колонн с основанием и шарнирного сопряжения сборных частей ригелей с колоннами;

– приложение нагрузки, которая моделирует нагрузку от собственного веса сборного элемента, собственного веса других сборных элементов (например, плиты-опалубки) и вес монолитного бетона. Загружение осуществлялось подвешиванием на тросах бетонных блоков средним весом 0,55 кН в 2 шага (на каждый ригель). После 1-го этапа загружения сила P = 0,55 кН.

2-й этап (рис. 1,*б*, 1,*г*):

– не снимая нагрузки 1-го этапа над опорой ригеля установлена продольная арматура и уложен монолитный керамзитобетон класса В12,5 (высота 40 мм). Высота сборно-монолитных балок составила 110 мм;

– после набора требуемой прочности керамзитобетоном плоская рама образована жёстким защемлением колонн с основанием и ригелей с колоннами, и имеет бóльшую степень статической неопределимости, чем на 1-м этапе;

– приложение нагрузки, которая моделирует вес конструкций пола, перегородок, ограждающих ненесущих стен и эксплуатационную нагрузку. Загружение на 2-м этапе происходило в местах, что и нагрузки 1-го этапа. Шаг увеличения силы Р составил 0,275 кН. Максимальная сила Р составила: 1,65 кН – на ригели нижнего яруса; 2,2 кН и 1,925 кН – на ригели верхнего яруса для правого и левого пролётов соответственно. Порядок загружения балок на 2-м этапе: Б2, Б1, Б4 и Б3.

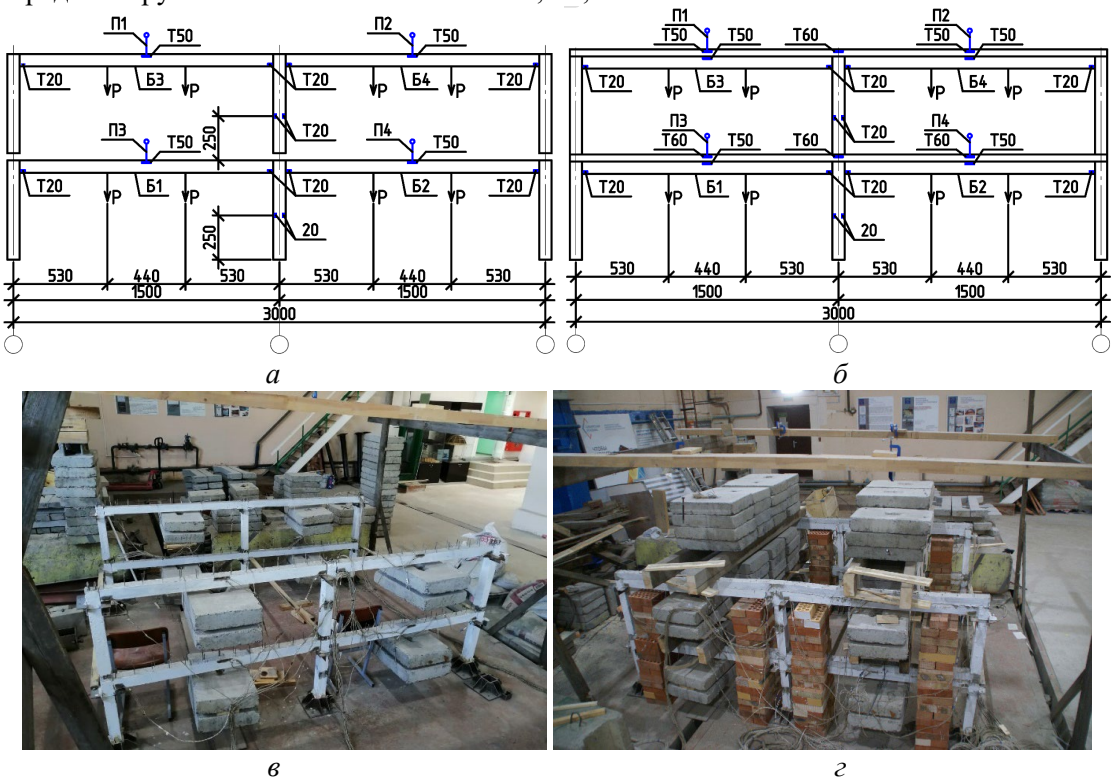


Рис. 1. Экспериментальная рама: *а* – конструктивная схема на 1-м этапе; *б* – конструктивная схема на 2-м этапе; *в* – фото рам на 1-м этапе; *г* – фото рам на 2-м этапе (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Experimental frame: a – constructive scheme at the 1st stage; b - constructive scheme at the 2nd stage; c – photo frames at the 1st stage; d – photo frames at the 2nd stage (illustration by the authors)

Деформации бетона фиксировались тензометрическими датчиками базой 20 мм (на схеме – Т20), 50 мм (на схеме – Т50) и 60 мм (на схеме – Т60). Прогибы фиксировались прогибомерами (на схеме – П), размещаемыми по центру балок.

3. Результаты и обсуждение

Экспериментальные исследования показали:

– отсутствие смещения монолитных частей относительно сборных в сборно-монолитных элементах. Совместность деформирования обеспечено за счёт сил трения и адгезии по контактному шву и поперечной арматуры;

– равномерный рост прогибов балок и деформаций бетонов (сборного и монолитного). Причём после набора монолитным бетоном требуемой прочности интенсивность роста прогибов и деформаций замедляется;

– образование первых трещин в ригелях рам на 1-м этапе загружения;

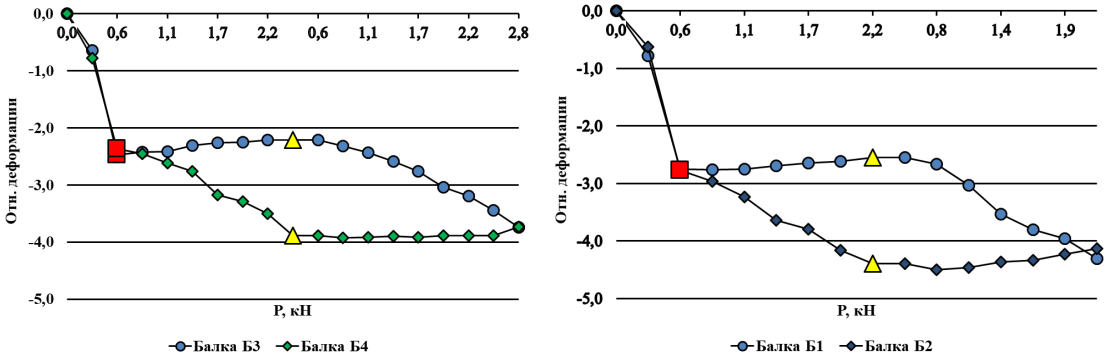
– отсутствие признаков разрушения сжатого бетона, а также не зафиксировано интенсивное и не стабилизирующееся нарастание прогибов, что свидетельствует о не достижении несущей способности элементов экспериментальных рам.

В результате анализа прогибов (рис. 2) отмечены:

– разная интенсивность роста прогибов балок рам на каждом этапе загружения. При восприятии нагрузки только сборной частью на 1-м этапе интенсивность роста прогибов выше, чем на 2-м этапе, когда балки уже сборно-монолитные;

– на 1-м этапе прогибы балок рам Рсм1 и Рсм2 при нагрузке Р = 0,28 кН составили 0,63…0,78 мм, а при Р = 0,55 кН – 2,47…2,77 мм;

– в процессе загружения на 2-м этапе происходит одновременное увеличение прогиба непосредственно загружаемых балок и выгиб (уменьшение прогиба) балок смежного пролёта из-за неразрывности сборно-монолитной балки. В частности, в балках Б2 и Б4 при первоначальном загружении прогибы составили 4,40 мм и 3,89 мм соответственно, а после загружения смежных балок Б1 и Б3, прогибы в балках Б2 и Б4 снизились до 4,14 мм и 3,73 мм соответственно (последний шаг загружения). В балках Б1 и Б3, наоборот, вначале на 2-м этапе произошло уменьшение прогиба, сформированного на 1-м этапе, по мере загружения смежных балок Б2 и Б4, а в последующем, после их непосредственного нагружения, прогибы увеличились.



а *б*

Рис. 2. График прогибов балок рам (красный квадрат – окончание 1-го этапа; жёлтый треугольник – окончание или начало непосредственного загружения каждой отдельной балки рамы на 2-м этапе): *а* – балки Б1, Б2; *б* – балки Б3, Б4 (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Graph of deflections of frame beams (red square – the end of the 1st stage; yellow triangle - the end or beginning of the direct loading of each individual frame beam at the 2nd stage): a – beams B1, B2; b – beams B3, B4 (illustration by the authors)

В сборных частях балок на 1-м этапе загружения трещины образовывались в середине пролёта (рис. 3,*а*) при нагрузке P = 0,55 кН, высота их распространения составила 20…30 мм, а ширина раскрытия не превысила 0,05 мм. Трещины образовывались с шагом 70…100 мм. В последующем, на 2-м этапе загружения, в образовавшихся на 1-м этапе трещинах увеличилась ширина их раскрытия, но без существенного роста высоты распространения (полностью сборную часть не пересекли и не достигли монолитного бетона).

В монолитном бетоне на 2-м этапе трещины образовались над средней опорой при нагрузке P = 1,93 кН. Ряд трещин в опорной зоне полностью пересекли монолитный бетон, однако их распространения в сборную часть не произошло.

В ходе проведения экспериментальных исследований в колоннах трещины не возникли. Отсутствовали горизонтальные трещины, как в монолитных и сборных частях элементов, а также по контактному шву сопряжения бетонов в балках.

Деформирование балок экспериментальных рам Рсм1 и Рсм2 происходило следующим образом:

– на 1-м этапе загружения схема работы ригелей (сборные части) представляют собой изгибаемую шарнирно-опёртую однопролётную балку, где в нижней зоне возникает растяжение, а в верхней зоне – сжатие. После 1-го этапа относительные деформации сжатия в верхней зоне в середине пролёта сборной части балки не превысили 0,00017, что меньше предельного значения;

– на 2-м этапе загружения снижается интенсивность роста деформаций в сборной части балок;

– после набора монолитным бетоном требуемой прочности и «превращения» отдельных сборных шарнирно-опёртых балок в неразрезную многопролётную сборно-монолитную балку на 2-м этапе меняется характер формирования НДС балок. В ригеле относительные деформации сжатия монолитного бетона в середине пролёта достигли значений 0,000175, что меньше предельных значений. При этом в смежном ненагруженном ригеле, в результате выгиба незагруженного пролёта, в монолитном

бетоне, возникают растягивающие деформации, достигающие значений 0,000071. После его загружения в монолитном бетоне возникают деформации сжатия, достигающие значений 0,000163;

– в опорной зоне в монолитном бетоне возникают деформации растяжения, достигающие предельных значений при нагрузке более 1,38 кН. Примерно при этой нагрузке фиксировали трещины визуально.

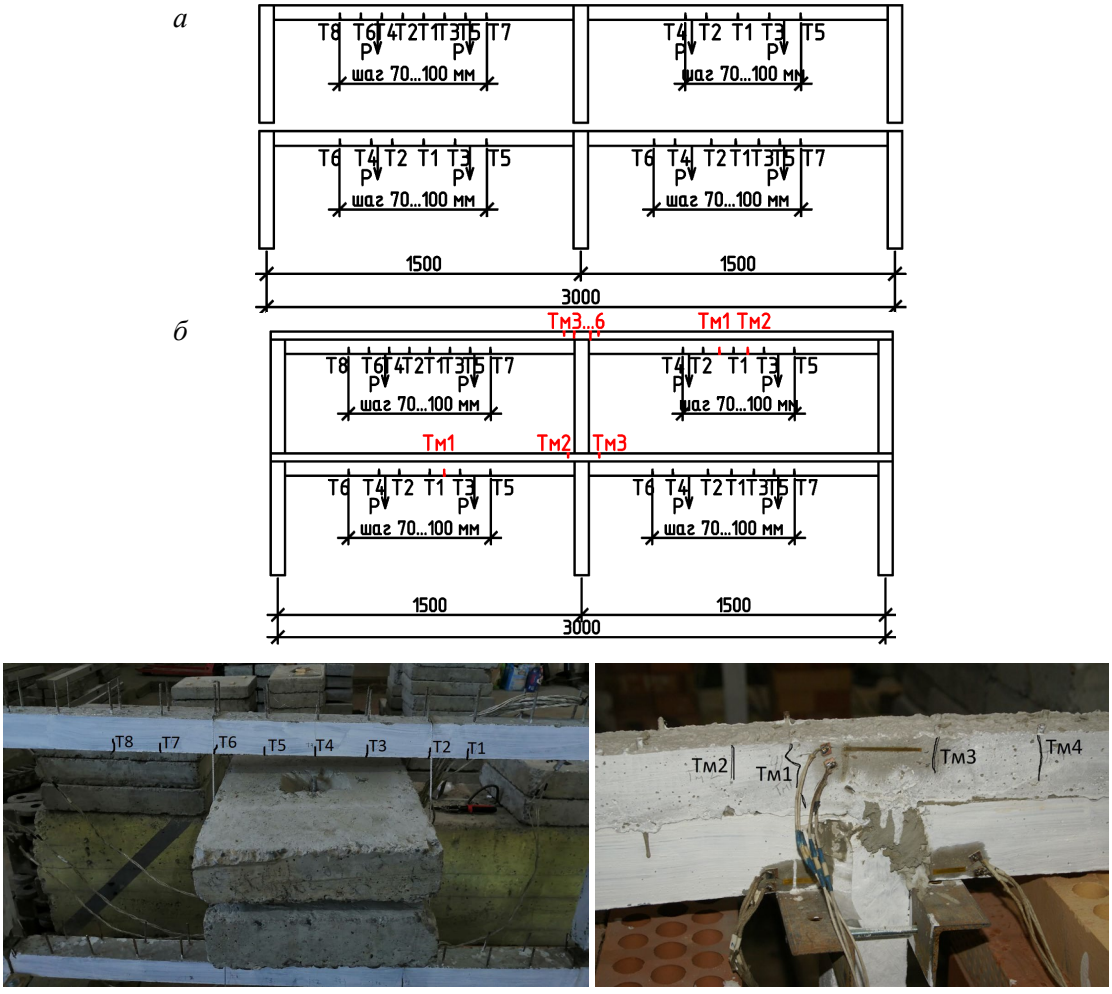


Рис. 3. Образование трещин в балках: *а* – схема на 1-м этапе; *б* – схема на 2-м этапе; *в* – фото (сборная часть на 1-м этапе); *г* – фото (монолитная часть на 2-м этапе) (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Formation of cracks in beams: a – diagram at the 1st stage; b - diagram at the 2nd stage; c – photo (prefabricated part at the 1st stage); d - photo (monolithic part at the 2nd stage) (illustration by the authors)

Деформирование колонн рам Рсм1 и Рсм2 происходило логично. В нижних ярусах колонн, вовлекаемых в процесс деформирования с 1-го шага загружения, по окончании 1-го этапа загружения относительные деформации достигли значений 0,000075. В верхних ярусах колонн, по окончании 1-го этапа загружения, относительные деформации достигли значения 0,000059.

После 2-го этапа загружения величина относительных деформаций достигла 0,000245 в нижних ярусах колонн и 0,000169 в верхних ярусах.

Результаты экспериментальных исследований были сопоставлены с данными других научных работ и получена достаточно хорошая сходимость. В частности, характер распределения деформаций в поперечном сечении сборно-монолитного элемента совпадает с данными, полученными при экспериментальных исследованиях шарнирно-опёртой балки [13]. Кроме того, аналогичные результаты получены и в работе [16], где проводились численные исследования двухэтажной двухпролётной рамы при поэтапном вовлечении в процесс деформирования сборного и монолитного бетонов. Проведённые в работе [17] исследования показали возможность обеспечения высокой

сдвиговой жёсткости шва сопряжения разновозрастных бетонов за счёт установки поперечной арматуры.

4. Заключение

1. Процесс монтажа и поэтапное вовлечение в процесс деформирования как отдельных элементов (колонны, ригели) сборно-монолитного каркаса, так и составляющих этих элементов (сборная и монолитная части ригеля) меняет характер формирования НДС сборно-монолитного каркаса.

2. Установка соответствующего армирования в опорной зоне монолитной части сборно-монолитного ригеля приводит к тому, что серия однопролётных балок «превращается» в единую многопролётную неразрезную балку. Одновременно с этим происходит повышение жёсткости узлов сопряжения ригелей с колонной, а также изменяется конструктивная схема каркаса здания в целом.

Список литературы/References

1. Фёдорова, Н. В., Московцева, В. С., Ветрова, О. А., Григорьев, М. И. Сборно-монолитный каркас нового поколения для жилых и гражданских зданий повышенной живучести // Бюллетень строительной техники. 2023. № 6 (1066). С. 24-26 [Fedorova, N. V., Moskovtseva, V. S., Vetrova, O. A., Grigoriev, M. I. Cast-in-situ reinforced concrete frame of a new generation for residential and civil buildings of increased survivability. Bulletin of construction equipment. 2023. No. 6 (1066). P. 24-26].
2. Serbin, S. A., Dedyukhin, P. O., Fomin, N. I. The analysis of technological parameters of precast-monolithic system with permanent formwork walls. 4th International conference on safety problems of civil Engineering critical infrastructures. Safety, 2018.
3. Шмелёв Г. Д., Фоменко Н. А., Гаврилова В. Н. Сравнительный анализ современных систем возведения зданий гражданского назначения // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 3 (6). С. 9–19 [Shmelev G. D., Fomenko N. A., Gavrilova V. N. Comparative analysis of contemporary systems of establishing civil design buildings. Housing and utilities infrastructure. 2018. No. 3(6). P. 9-19].
4. Breccolotti, M., Gentile, S., Tommasini, M., Materazzi, A.L., Bonfigli, M.F., Pasqualini, B., Colone, V., Gianesini, M. Beam-column joints in continuous RC frames: Comparison between cast-in-situ and precast solutions. Engineering Structures. 2016. No. 127. P. 129–144.
5. Зенин, С. А., Шарипов, Р. Ш., Мухамедиев, Т. А., Кудинов, О. В., Чистяков, Е. А. Проектирование сборно-монолитных железобетонных конструкций (О проекте свода правил) // Вестник НИЦ «Строительство». 2017. №. 4 (15). С. 107-115 [Zenin, S. A., Sharipov, R. Sh., Mukhamediev, T. A., Kudinov, O. V., Chistyakov, E. A. Design of precast-monolithic reinforced concrete structures (About the draft of code of practice). Bulletin of science and research center of construction. No. 2017. No. 4 (15). P. 107-115].
6. Nedviga, E., Beresneva, N., Gravit, M., Blagodatskaya, A. Fire Resistance of Prefabricated Monolithic Reinforced Concrete Slabs of «Marko» Technology. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. No. 692. P. 739–749.
7. Миронова, Ю. В. Модернизация конструктивного решения горизонтального стыка плит перекрытия в безригельных каркасах с использованием бессварных петлевидных закладных деталей // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 3 (80). С. 55-61 [Mironova, Yu. V. Modernization of the design solution of the horizontal joint of the floor slabs in the beam-free frames using seamless loop-shaped embedded parts. Bulletin of Civil Engineers. 2020. No. 3 (80). P. 55-61].
8. Ласьков, С. Н. Напряжённое состояние опорной зоны балок сборно-монолитных узлов со скрытой консолью // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 2 (55). С. 96-105 [Laskov, S. N. Stress state of the support zone of beams of prefabricated monolithic units with a hidden console. Regional architecture and construction. 2023. No. 2 (55). P. 96-105].
9. Кабанцев О.В., Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В. Технология расчетного прогноза напряженно-деформированного состояния конструкций с

учетом истории возведения, нагружения и деформирования //International scientific journal International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2011. № 7(3). С. 110-117 [Kabantsev O.V., Karpilovsky V.S., Kriksunov E.Z., Perelmuter A.V. Technology of computational prediction of the stress-strain state of structures taking into account the history of construction, loading and deformation. International scientific journal International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2011. No. 7(3). P. 110-117].

10. Перельмутер А.В. Беседы о строительной механике. Научное издание. М.: Издательство SCAD Soft, издательство ассоциации строительных вузов. 2014. 250 с. [Perelmuter A.V. Conversations about construction mechanics. Scientific publication. Moscow: SCAD Soft Publishing house, publishing house of the Association of Construction Universities. 2014. 250 p.].
11. Мкртычев, О. В., Андреев, М. И., Сидоров, Д. С. Анализ усилий в конструкциях при учёте стадийности возведения // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 4. С. 293-298 [Mkrtychev O.V., Andreev M. I., Sidorov D.S. Stress changing analysis in structures with account of the step by step erection. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2018. No. 14 (4). P. 293–298].
12. Ефрюшин, С. В., Макаров, А. С. Расчётный анализ эффективности усиления строительных конструкций, учитывающий стадийность включения дополнительных конструктивных элементов // Строительная механика и конструкции. 2020. № 4 (27). С. 26-37 [Efryushin, S. V., Makarov, A. S. calculated analysis of the efficiency of strengthening building constructions taking into account step by step inclusion 9. Construction mechanics and structures. P. 26-37].
13. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Stress-strain state of the precast monolithic bent element. Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 97(5).
14. Семенюк С.Д., Москалькова Ю.Г. Прочность и деформативность изгибаемых элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, при статическом малоцикловом нагружениях. – Могилёв: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 274 с. [Semenyuk S.D., Moskalkova Yu.G. Strength and deformability of bent elements reinforced by the expansion of the compressed zone under static low-cycle loads. – Mogilev: Belorus.-Russian University, 2017. – 274 p.].
15. Лазовский Д.Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений. – Новополоцк: ПГУ, 1998. – 240 с. [Lazovsky D.N. Reinforcement of reinforced concrete structures of operated construction structures. – Novopolotsk: PSU, 1998. – 240 p.].
16. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Stress-strain state of precast and cast-in place buildings [Напряжённо-деформированное состояние сборно-монолитного здания]. Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 6. P. 175–184.
17. Koyankin A.A., Mitasov V.M., Tskhay T.A. Compatibility of precast heavy and monolithic lightweight concretes deforming [Совместность деформирования сборного тяжёлого и монолитного лёгкого бетонов]. Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 8(84). P. 162–172.

Информация об авторах

Коянкин Александр Александрович, кандидат технических наук, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская федерация
E-mail: KoyankinAA@mail.ru
Митасов Валерий Михайлович, профессор, г. Новосибирск, Российская федерация
E-mail: MitasovV@mail.ru

Information about the authors

Aleksandr A. Koiankin, Candidate of Technical Sciences, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
E-mail: KoyankinAA@mail.ru
Valery M. Mitasov, Doctor of Technical Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
E-mail: MitasovV@mail.ru

УДК: 69.024.81
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_25
EDN: ATUWIT

Стальные полигональные арочные конструкции из унифицированных элементов

Р.Г. Гайнетдинов[1], Л.Р. Гимранов[1], М.Т. Сибгатуллин[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Главной проблемой при возведении стальных полигональных арок является конструирование надежного узлового соединения как с точки зрения обеспечения несущей способности, так и снижения расхода стали, при этом узловое соединение должно обеспечивать требуемое очертание арки. *Цель работы* заключается в разработке узлового соединения унифицированных элементов без фланцев, позволяющих осуществить возведение арки произвольного пролета и сравнение конструктивного решения по расходу стали и трудоемкости сборки с известными аналогами. *Задачи*: рассмотрение известных узловых соединений стальных полигональных арок, выявление преимуществ, недостатков, разработка нового соединения и сравнение по расходу стали, трудоемкости изготовления с существующими техническими решениями.
Результаты. В работе представлены результаты исследований узловых соединений стальных полигональных арок. В результате выявлено, что наименьшей стоимостью по расходу стали обладает полигональная арка, предложенная в данной работе: ее стоимость на 7,7% меньше стоимости арки с кольцевыми вставками и на 19,3% – арки из однотипных элементов. При этом арка из однотипных элементов является наиболее рентабельной по трудоемкости сборки.
Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что за счет непосредственного соединения унифицированных элементов полигональных арок исключается необходимость во фланцах, что позволяет облегчить несущую конструкцию.

Ключевые слова: полигональная арка, унифицированный элемент, узловое соединение, пролет, очертание, фланец

Для цитирования: Гайнетдинов Р.Г., Гимранов Л.Р., Сибгатуллин М.Т. Стальные полигональные арочные конструкции из унифицированных элементов // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.25-32, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_25, EDN: ATUWIT

Steel polygonal arch structures from standardized elements

R.G. Gainetdinov[1], L.R. Gimranov[1], M.T. Sibgatullin[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* The main problem in the construction of steel polygonal arches is the design of a reliable nodal connection, both from the point of view of ensuring load-bearing capacity and reducing steel consumption, while the nodal connection must provide the required outline of the arch. The purpose of the work is to develop a nodal connection of standardized elements without flanges, allowing the construction of an arch of arbitrary span and comparison of the design solution in terms of steel consumption with known analogues. The objectives of the study are: consideration of known nodal connections of steel polygonal arches, identification

of advantages and disadvantages, development of a new connection and comparison of steel consumption and manufacturing complexity with existing technical solutions.
Results. The paper presents the results of studies of nodal connections of steel polygonal arches. As a result, it was revealed that the polygonal arch proposed in this work has the lowest cost in terms of steel consumption: its cost is 7.7% less than the cost of an arch with ring inserts and 19.3% less than the cost of an arch made of the same type of elements.
Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that due to the direct connection of the standardized elements of polygonal arches, the need for flanges is eliminated, which makes it possible to lighten the load-bearing structure.

Keywords: polygonal arch, unified element, nodal connection, span, outline, flange

For citation: Gainetdinov R.G., Gimranov L.R., Sibgatullin M.T. Steel polygonal arch structures from standardized elements // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.25-33, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_25, EDN: ATUWIT

1. Введение

В настоящее время одной из приоритетных задач России является сокращение сроков строительства промышленных и гражданских объектов, развитие и повышение эффективности народного хозяйства. Данный процесс возможен при применении быстровозводимых зданий различного назначения – склады, ангары и т.п [1-3]. Большое внимание уделяется развитию производства зданий и сооружений малых пролетов (до 18 м – для гражданских зданий, до 30 м – для производственных зданий) из легких прогрессивных конструкций [4-5].

Как показывает практика строительства, лучшими показателями по стоимости и расходу стали обладают легкие арочные здания. При проектировании и возведении арочных зданий широко используются арки из унифицированных элементов. Унифицированный элемент состоит из стальных труб, швеллеров, двутавров или других профилей, соединение элементов выполняется при помощи фланцев на болтах. Центральным вопросом при возведении полигональных арок является конструирование надежного узлового соединения как с точки зрения обеспечения несущей способности, так и снижения расхода стали, при этом узловое соединение должно обеспечивать требуемое очертание арки.

Наиболее распространенными являются плиточные фланцы, которые представляют собой листовую сталь с отверстиями для крепления болтов и приварки по их концам. Данное узловое соединение обладает такими преимуществами, как простота монтажа и обеспечение необходимой прочности. Однако недостатком плиточных фланцев является повышенный расход стали и возможность соединять унифицированные элементы только под одним углом.

Были предложены другие типы узловых соединений унифицированных элементов, позволяющие обеспечить соединение под разными углами. Одно из таких соединений было разработано Кузнецовым И.Л. и Сафиным Р.К. [6]. Узловое соединение однотипных элементов арки состоит из цилиндрической узловой вставки, которые охватывают ее с двух сторон жестко закрепленными на торцах элементами фасонки. Крепление фасонок к узловой вставке осуществлено с помощью резьбового соединения с сопрягающими шайбами, для чего по окружности вставки и в фасонках образованы соосные овальные отверстия.

Позже Кузнецов И.Л. разработал болтовое узловое соединение унифицированных элементов арки на цилиндрических фланцах [7]. На концы элемента арки, приварены фланцы. Первый фланец унифицированного элемента выполнен из отрезка цилиндрической трубы, отверстия под болты расположены соосно с равным шагом по ее окружности. Второй фланец унифицированного элемента выполнен из отрезка поверхности трубы с совпадающими отверстиями первого фланца. Сборка арки из данных элементов заключается в жестком соединении болтами под требуемым углом. На цилиндрической трубе отыскиваются те отверстия, которые образуют требуемый угол, в них вставляются болты. Затем болты вставляют в отверстия вогнутого фланца смежного элемента и закручивают гайки, что обеспечит жесткий контакт двух фланцев.

В другой работе Кузнецов И.Л. предлагает болтовое узловое соединение однотипных элементов арки с узловой вставкой [8]. Вогнутые фланцы охватывают цилиндрическую узловую вставку с жестко закрепленными на концах кольцами, внутренние кромки которых имеют зубчатый профиль и введены в контакт с аналогичным профилем боковой поверхности фланцев. Крепление производится болтами, установленными в соосные отверстия во фланцах и в узловой вставке. В данном соединении отпадает необходимость в использовании высокопрочных болтов. Однако данное узловое соединение требует высокой точности изготовления и монтажа, фасонной резки элементов, создание рифленых поверхностей, шаблоны для установки требуемого угла сопряжения элементов арки.

С целью повышения надежности, упрощения и ускорения монтажа было разработано соединение элементов арки с цилиндрической узловой вставкой [9]. Сборка данного узлового соединения выполняется следующим образом. Криволинейные фасонки элементов вводят в соприкосновение с узловой вставкой, устанавливают накладки и слабо стягивают их болтами. Требуемый угол соединения элементов обеспечивается поворотом элементов арки вокруг узловой вставки. Поворот элементов достигается тем, что при слабо закрученной гайке болта возможен выход накладки из зацепления с криволинейной фасонкой за счет сжатия пружинной шайбы. После установки требуемого угла гайку болта закручивают до отказа, обеспечивая сцепление пилообразных профилей фасонок и накладок, а также необходимую степень сжатия пружинной шайбы. Данное узловое соединение обеспечивает надежность соединения в арках с большими изгибающими моментами, повышает точность сборки и ускоряет время возведения арки.

Кузнецовым И.Л. и Пеньковцевым С.А. было предложено следующее узловое соединение однотипных элементов арки. Элемент арки содержит прямолинейный стержень из коробчатого сечения или спаренных швеллеров, криволинейную фасонку с отверстиями для крепежных болтов, цилиндрическую трубку с соосными отверстиями по периметру окружности. Крепление фасонок и цилиндрической трубы к стержню осуществляется на сварке. Цилиндрическая трубка на другом конце стержня размещается между стенками поперечного стержня, при этом устанавливается со смещением относительно оси элемента. Смещение относительно торца может быть выполнено на величину $a = d/2$, где d – диаметр трубы, при этом участок стержня в пределах трубы становится ее поперечной диафрагмой жесткости. В некоторых случаях соосные отверстия в цилиндрической трубе целесообразно выполнить резьбовыми. Данное узловое соединение однотипных элементов арки позволяет увеличить диапазон соединения элементов арки от 90° до 180°, исключение фасонной резки концов стержня.

Специалистами КазИСИ было разработано узловое соединение унифицированных элементов арки с кольцевыми вставками [10]. Данное конструктивное решение узла позволяет регулировать угол сопряжения между унифицированными элементами арки, обладает простотой изготовления, а также обеспечивает условие равнопрочности узлового соединения с унифицированными элементами. Кольцевая вставка и фасонная накладка выполнены из отрезка круглой трубы или изготовлены путем штамповки и последующей сварки двух полуколец. Стержень однотипного элемента может быть выполнен из профильных элементов: швеллеров, двутавров, прямоугольных труб, перфорированных профилей, составного сечения и т.п. Крепление вогнутых фасонок и узловых элементов к концам стержней осуществляется сбоку впритык к сварке, что уменьшает трудоемкость изготовления за счет исключения фасонной резки концов однотипных элементов. Недостатками данного узлового соединения являются повышенная материалоемкость, большой диаметр перфорации фасонки для установки болтов. Конструкции узловых соединений с кольцевыми вставками рациональны при пролетах несущих конструкций облегченных зданий до 15 м. При увеличении пролета требуется введение в узлах дополнительных усиливающих элементов (диафрагм жесткости) или увеличение ширины и толщины кольцевых вставок, что приводит к повышению расхода стали.

Кузнецовым И.Л. и Яруллиным Р.М. было разработано болтовое узловое соединение унифицированных элементов арки с цилиндрической вставкой [12]. К торцам элементов арки на сварке прикреплены крепежные детали, выполненные в виде двух отрезков круглых труб. Элементы арки объединены посредством цилиндрической

узловой вставки, к торцам которой жестко установлены боковые накладки с отверстиями, равномерно размещенными по длине окружности. Однотипные элементы арки соединены между собой посредством боковых накладок цилиндрической вставки стяжными болтами, пропущенными через соосные отверстия в накладках и в отверстиях крепежных элементов.

Целью работы является создание узлового соединения полигональной арки из унифицированных элементов на болтах без использования фланцев, позволяющих обеспечить требуемое очертание и несущую способность арки, а также технико-экономическое сравнение узла с традиционными конструктивными решениями.

Задачами исследования являются:

1. рассмотрение основных узловых соединений унифицированных элементов полигональных арок, выявление преимуществ и несовершенств.

2. исследование технико-экономических показателей конструктивных решений узловых соединений на основе расчета типовой арки.

2. Материалы и методы

Для технико-экономического сравнения стальных полигональных арок из унифицированных элементов выбраны три вида узловых соединений (табл.1):

а) с новым узловым соединением унифицированных элементов без фланцев.

б) с аркой из однотипных элементов с фасонкой из отрезка двутавра.

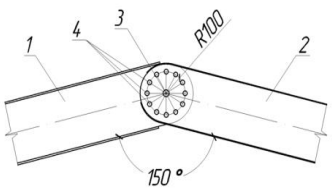
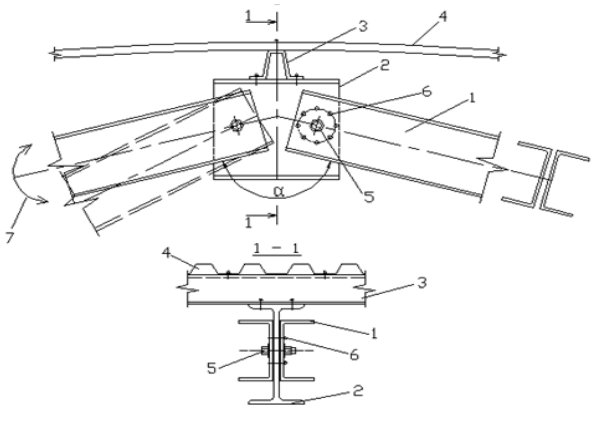
в) с узловым соединением с единой кольцевой вставкой.

Выбор данных конструктивных решений соединений обусловлен типом арки и наиболее выгодными показателями по расходу стали и трудоемкости сборки с другими узловыми соединениями стальных полигональных арок.

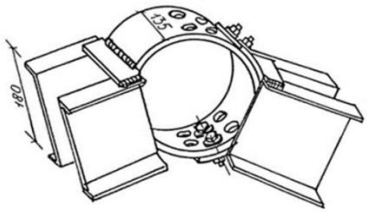
В качестве объекта исследования принята конструктивная схема арки пролетом l=12 м и со стрелой подъема f=5,8 м. При этом расчет несущих элементов, подбор сечений и конструирование узлов для выбранных соединений унифицированных элементов полигональных арок произведены в работах [11, 13], эти результаты были использованы в данной статье.

Таблица 1

Узловые соединения полигональных арок

Узловые соединения арки	Схемы узловых соединений
а)	
б)	

Окончание таблицы 1

в)	

3. Технико-экономическое сравнение стальных полигональных арок

Предлагается новое конструктивное решение полигональной арки: арка собирается из двух унифицированных элементов, скрепленных между собой на болтах без использования фланцев, при этом их соединение может выполняться под любым углом α. Соединение двух типов унифицированных элементов осуществляется в следующем порядке. Первоначально элементы соединяются центральным болтом, установленным в отверстии, а после обеспечения нужного угла соединения элементов вокруг устанавливаются крепежные болты (табл 1. а) [14].

Для сопоставления данных расхода материла нового узлового соединения, с известными решениями определим вес крепежных деталей на один узел соединяемых элементов предлагаемой арки (табл 1. а). Унифицированные элементы арки соединяются центральным болтом диаметром 30 мм и 12-ю крепежными болтами диаметром 20 мм. Примем центральный болт М30х65 массой 0,605 кг, крепежные болты – М20х65 массой 0,228 кг и рассчитаем массу болтов, приходящихся на один узел:

$$m_{b1}=0{,}605+0{,}228\times12=3{,}341 \text{ кг} \quad (1)$$

Произведем расчет веса одной предлагаемой арки пролетом $L = 11{,}58$ м и стрелой подъема $f = 5{,}79$ м. Первый тип унифицированного элемента – двутавр 30Б1, масса 1 п.м. составляет 32 кг. Второй тип унифицированного элемента – парные швеллеры 280х60х3,9 мм, масса 1 п.м. – 11,8 кг.

Вес двутавров:

$$m_{\text{дв}}=(3{,}565+2{,}985+3{,}285)\times32=314{,}72 \text{ кг} \quad (2)$$

Вес швеллеров:

$$m_{\text{шв}}=(3{,}275+2{,}965+3{,}545)\times11{,}8\times2=230{,}93 \text{ кг} \quad (3)$$

Общий вес унифицированных элементов:

$$\mathrm{m_{эл1}} = 314{,}72 + 230{,}93 = 545{,}65 \text{ кг} \quad (4)$$

Вес болтов, приходящихся на одну арку:

$$\mathrm{m_b} = 3{,}341 \cdot 5 = 16{,}71 \text{ кг} \quad (5)$$

Вес предлагаемой полигональной арки из унифицированных элементов:

$$\mathrm{m_{ap1}} = 545{,}65 + 16{,}71 = 562{,}36 \text{ кг} \quad (6)$$

Вычислим вес арки из однотипных элементов (табл 1. б). Фасонка представляет собой отрезок двутавра с уклоном полок №36 длиной 50 см, масса 1 п.м. двутавра – 48,6 кг. В качестве центрального стяжного болта принят болт М16 массой 0,145 кг, а в качестве метизов – 12 ССВ диаметром 6,3 мм массой 0,014 кг.

Вес крепежных элементов одного узла арки:

$$\mathrm{m_{b2}} = 48{,}6 \cdot 0{,}5 + 0{,}145 \cdot 2 + 0{,}014 \cdot 12 = 24{,}76 \text{ кг} \quad (7)$$

Рассчитаем вес одной арки пролетом 12 м и стрелой подъема 6 м. Арка состоит из 8 однотипных элементов сечением из спаренных швеллеров 280х60х3,9 мм, масса 1 п.м. швеллера – 11,8 кг. Длина элемента составляет 2,5 м.

Вес однотипного элемента арки:

$$\mathrm{m_{эл2}} = 2{,}5 \cdot 11{,}8 \cdot 2 = 59 \text{ кг} \quad (8)$$

Вес арки составляет:

$$m_{ap2} = 59 \cdot 8 + 24{,}76 \cdot 7 = 645{,}32 \text{ кг} \quad (9)$$

Найдем вес арки, элементы которой соединяются кольцевой вставкой, предложенной в работе [11]. Пролет арки составляет 11,63 м, стрела подъема – 5,55 м, количество элементов арки – 6. Элементами арки являются парные швеллеры 280х60х3,9 мм длиной 3 м, масса 1 п.м. швеллера – 11,8 кг. Кольцевая вставка выполнена из отрезка круглой трубы длиной 220 мм, радиусом 180 мм и толщиной 10 мм. Фасонные накладки, привариваемые к кольцевой вставке и стержням арки, имеют размеры 300х200х10 мм. Использованы болты М20 массой 0,228 кг.

Найдем вес кольцевой вставки, исходя из ее объема и плотности стали, равной 7850 кг/м3:

$$m_{вст} = \pi \cdot (0{,}18^2 - 0{,}17^2) \cdot 0{,}22 \cdot 7850 = 19 \text{ кг} \quad (10)$$

Вес фасонной накладки:

$$m_{фн} = 0{,}3 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}01 \cdot 7850 = 4{,}71 \text{ кг} \quad (11)$$

Вычислим массу кольцевой вставки, фасонных накладок и болтов, приходящихся на один узел:

$$m_{b3} = 19 + 4{,}71 \cdot 4 + 0{,}228 \cdot 4 = 38{,}8 \text{ кг} \quad (12)$$

Вес элемента рассматриваемой арки составляет:

$$m_{эл3} = 11{,}8 \cdot 3 \cdot 2 = 70{,}8 \text{ кг} \quad (13)$$

Исходя из данных, полученных выше, находим вес у одной арки с кольцевыми вставками:

$$m_{ap3} = 70{,}8 \cdot 6 + 38{,}8 \cdot 5 = 618{,}8 \text{ кг} \quad (14)$$

Проведенный расчет показывает, что вес крепежных изделий, необходимых для соединения элементов предлагаемой арки, $m_{b1} = 3{,}341$ кг в 7,4 раза меньше веса фасонки и болтов второй арки $m_{b2} = 24{,}76$ кг, а по сравнению с кольцевой вставкой третьей арки – меньше в 11,6 раз. Вес предлагаемой полигональной арки из унифицированных элементов $m_{ap1} = 562{,}36$ кг на 14,75% меньше веса арки $m_{ap2} = 645{,}32$ кг – из однотипных элементов с фасонкой из отрезка двутавра, и на 10,04% меньше веса арки с кольцевыми узловыми вставками $m_{ap3} = 618{,}8$ кг, предложенными Пеньковцевым С.А. в работе [11].

Зачастую при внедрении конструкции в строительство обращают внимание не только на вес конструкции, но и на технологичность, то есть трудоемкость изготовления, сборки, монтажа. Ключевую роль играет вид соединений и количество элементов, участвующих в сборке. С учетом этого для полной оценки технико-экономических показателей стальных арочных конструкций, предлагается воспользоваться формулой (15), при этом учесть количество соединяемых элементов и выполняемых операций:

$$T_0 = \psi_0^T t_0 n_0 + T_{сб} G \text{ , чел×час} \quad (15)$$

где ψ_0^T – коэффициент трудоемкости операций;

t_0 – единичная трудоемкость обработки, чел × час;

n_0 – число основных деталей элемента конструкции, количество;

$T_{сб}$ – трудоемкость сборки конструкции на 1т, $\frac{\text{чел×час}}{\text{кг}}$;

G – вес конструкции, кг.

Данные по расчету трудоемкости T_0 – для арочных конструкций представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технико-экономические показатели стальных арочных конструкций

Арка	Вес $m_{ap,i}$, кг	n, количество элементов в узле	k, количество операций при сборке узла	T_0, трудоемкость обработки и сборки конструкции, чел×час
Полигональная арка из двух типов унифицированных элементов	562,36	4	5	26,53

Окончание таблицы 2

Арка из однотипных элементов	645,32	4	3	26,50
Арка с кольцевыми вставками	618,8	4	4	26,61

4. Заключение

1. Проведенный анализ конструктивных решений арочных зданий показал, что данные конструкции имеют ряд преимуществ, которые свидетельствуют о высоком уровне эффективности их применения. Однако существуют проблемы, связанные с использованием металлических арок в строительстве зданий небольших пролетов. Эти проблемы связаны с повышенным расходом стали на изготовление фланцев, трудоемкостью сборки и ограничением очертаний арки из-за необходимости соединения унифицированных элементов под определенным углом.

2. В результате обзора различных узловых соединений арочных элементов предложена новая конструкция полигональной арки, позволяющая соединять элементы под любым углом и сооружать арки произвольного пролета и очертания. Элементы арки представлены в виде двух типов унифицированных элементов – двутавра и парного швеллера – и соединяются с помощью болтов без использования фасонок. Несущая способность обеспечивается изменением шага арок.

3. Проведенные исследования показали, что наименьшей стоимостью по расходу стали обладает полигональная арка, предложенная в данной работе: ее стоимость на 7,7% меньше стоимости арки с кольцевыми вставками и на 19,3% – арки из однотипных элементов с фасонкой из отрезка двутавра. По трудоемкости обработки и сборки конструкции наиболее рентабельным является техническое решение арки из однотипных элементов.

Список литературы/References

1. Katarzyna Rzeszut., Ilona Szewczak. Experimental studies of sigma thin-walled beams strengthen by CFRP tapes // World Academy of Science, Engineering and Technology Internationa Journal of Structural and Construction Engineering. 2017. vol. 11 no.7. P. 888–895.
2. Rahima Ummi Kulsum Nadya., Fathoni Usman. Bolted connection of cold-formed steel section - a review // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. No. 17. P. 4737–4745.
3. Anna Green Antony. Study on cold formed steel sigma sections and the effect of stiffeners // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. vol. 5. P. 16249–16255. DOI:10.15680/IJIRSET.2016.0509084.
4. Je Chenn Gan. Expermental study on the effect of heel plate thickness on the structural integrity of cold formed steel roof trusses / Je Chenn Gan, Jee Hock Lim, Siong Kang Lim, Horng Sheng Lin // 14 th International Conference on Concrete Engineering and Technology. 2018. P.1–9.
5. M.D.Raghunathan. On the tensile capacity of Single-bolted Connections between GFRP Angles and Gusset Plates-Testing and Modelling / M.D. Raghunathan, R.Senthil, and G.S. Palani // KSCE Journal of Civil Engineering. — 2016. — Vol.21. No.6. P. 2259–2272.
6. Зверев В.В., Семенов А.С. Влияние податливости болтовых соединений на деформативность фермы из тонкостенных гнутых профилей // Строительство и архитектура. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно строительного университета. 2008. № 2 (10). С. 9–7. [Zverev V.V., Semenov A.S. The influence of the compliance of bolted connections on the deformability of a truss made of thin-walled bent profiles // Construction and architecture. Scientific bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2008. No. 2 (10). P. 9–7.]
7. А. с. 613042 СССР, МКИ Е 04 В 1/58. Узловое соединение однотипных элементов арки / И.Л. Кузнецов, Р.К. Сафин. – заявл. 7.02.78; опубл. 30.06.78, Бюл. № 24.

[Kuznetsov I.L., Safin R.K. Nodal connection of similar arch elements. Patent USSR. No. 613042; 30.06.78.]
8. А. с. 608895 СССР, МКИ Е 04 В 1/32. Элемент арки / И.Л. Кузнецов. – заявл. 14.02.77; опубл. 28.02.78, Бюл. № 20. [Kuznetsov I.L. Arch element. Patent USSR. No. 608895; 28.02.78.]
9. А. с. 746058 СССР, МКИ Е 04 В 1/58. Узловое соединение однотипных элементов арки / И.Л. Кузнецов. – заявл. 13.03.81; опубл. 30.07.82, Бюл. № 25. [Kuznetsov I.L. Nodal connection of similar arch elements. Patent USSR. No.746058; 30.07.82.]
10. А. с. 676702 СССР, МКИ Е 04 В 1/58. Узловое соединение элементов арки / И.Л. Кузнецов. – заявл. 24.03.78; опубл. 30.07.79, Бюл. № 28. [Kuznetsov I.L. Nodal connection of arch elements. Patent USSR. No.676702; 30.07.79.]
11. Пеньковцев, С.А. Несущие металлические конструкции облегченных зданий из унифицированных элементов: дисс. канд. техн. наук / С.А. Пеньковцев. – Казань, 1990. – 222 с. [Penkovtsev S.A. Load-bearing metal structures of lightweight buildings made from standardized elements: diss. Ph.D. tech. sciences. Kazan, 1990 (In Russian).]
12. Пат. 2273702 Российская Федерация, МПК Е 04 В 1/58. Узловое соединение элементов арки / Кузнецов И.Л., Яруллин Р.М. – заявл. 28.10.2004; опубл. 10.04.2006, Бюл. № 10. [Kuznetsov I.L., Yarullin R.M. Nodal connection of arch elements. Patent RF. No. 2273702; 10.04.2006.]
13. И.Л. Кузнецов, Р.Г. Гайнетдинов, Л.Р. Хайруллин. Полигональная арка из двух типов унифицированных элементов // Строительство и архитектура. Строительные науки. – 2021. – №50 – С. 65-69. [Kuznetsov I.L., Gainetdinov R.G., Khayrullin L.R. Polygonal arch of two types of unified elements // Construction and architecture. Building Sciences. – 2021. – No. 50 – pp. 65-69 (In Russian)]
14. Пат. 2750773 Российская Федерация, МПК Е 04 В 1/32. Полигональная арка / Кузнецов И.Л., Гайнетдинов Р.Г., Судариков В.А.. – заявл. 28.10.2020; опубл. 02.07.2021, Бюл. № [Kuznetsov I.L., Gainetdinov R.G., Sudarikov V.A. Polygonal arch. Patent RF. No. 2750773; 02. 07.2021]
15. Стрелецкий Н.С. Металлические конструкции. Государственное издательство литератур по строительству, архитектуре и строительным материалам. Москва. 1961. [Streletsky N.S. Metal constructions. State publishing house of literature on construction, architecture and building materials. Moscow. 1961 (In Russian)]

Информация об авторах

Ришат Габдулхаевич Гайнетдинов, ассистент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
Email: rishat.gajnetdinov@bk.ru
Линур Рафаилевич Гимранов, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
Email: leenur@mail.ru
Марат Тафкилович Сибгатуллин, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
Email: maratts@mail.ru.

Information about the authors

Rishat G. Gainetdinov, assistant, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: rishat.gajnetdinov@bk.ru
Linur R. Gimranov, PhD, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: leenur@mail.ru
Marat T. Sibgatullin, PhD, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: maratts@mail.ru.

УДК: 628.517.2
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_33
EDN: DGSITN

Упрощенный метод определения положения локального источника конструкционного шума в здании при эксплуатационных условиях

А.С. Петров[1], А. И. Иванцов[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Согласно федеральному закону № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» к зданиям предъявляются требования к защите от шума, которые реализуются посредством выполнения требований нормативной документации. При этом источниками шума традиционно выступают транспортные шумы, шум оборудования и прочие источники, положение в пространстве которых известно на этапе расчета. Характеристики шумов, возникающие в конструкциях вследствие деформации, вибрации, трения и т.п., часто не определены. Проблема локализации конструкционного шума в архитектурно-строительной практике освещены недостаточно. Известны методы локализации точечного источника шума на основе измерения задержки сигнала между микрофонами (триангуляция, трилатерация и т.п.), однако практическая реализация подобных систем может быть весьма трудозатратой и дорогостоящей. При этом применение данных методов может быть осложнено тем, что конструкционный шум может отличаться от точечного, так как возможно его распространение вдоль протяженных конструктивных элементов. В виду перечисленных проблем целью исследования является разработка и апробация метода локализации источника конструкционного шума в эксплуатационных условиях. Основные задачи исследования сформулированы следующим образом:
Задачи исследования:
1. Разработка прототипа системы мониторинга, регистрации и локализации источника конструкционного шума;
2. Разработка метода локализации шума на основе оцифровки и анализа записи звукового сигнала;
3. Апробация разработанного метода в натурных условиях эксплуатации зданий.

Результаты. Приведены результаты исследования мониторинга шума в натурных условиях эксплуатации здания на основе разработанного прототипа системы регистрации и локализации источника конструкционного шума. Разработан метод локализации шума на основе оцифровки и анализа записи звукового сигнала по громкости. Сформулированы достоинства и недостатки применения метода локализации источника шума по уровню громкости.
Выводы. Предложен альтернативный метод локализации источника шума в архитектурно-строительной практике, основным отличием которого является принцип определения положения источника шума по уровню громкости. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в значительном удешевлении и простоте реализации системы локализации источника шума.

Ключевые слова: шум, метод локализации, температурное расширение, солнечная радиация, оконные конструкции

Для цитирования: Петров А.С., Иванцов А. И. Упрощенный метод локализации источника шума в здании при эксплуатационных условиях// Известия КГАСУ, 2023, №4(66) , с. 33-42, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_33, EDN: DGSITN

A simplified method for determining the location of a local source of structural noise in a building under operating conditions

A.S. Petrov[1], A. I. Ivantsov[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Civil Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* According to Federal Law No. 384 "Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures," buildings are subject to noise protection requirements, which are implemented by meeting the requirements of normative documentation. In this case, noise sources are traditionally transport noise, equipment noise and other sources, which position in space is known at the calculation stage. Characteristics of noise arising in structures as a result of deformation, vibration, friction, etc. are often not defined. The problem of localizing structural noise in architectural and construction practice is not sufficiently covered. There are known methods for localizing a point source of noise based on measuring the signal delay between microphones (triangulation, trilateration, etc.), however, the practical implementation of such systems can be very labor-intensive and expensive. At the same time, the use of these methods can be complicated by the fact that structural noise can differ from point noise since it can spread along extended structural elements. In view of the above problems, the purpose of the study is to develop and test a method for localizing the source of structural noise under operating conditions. The main objectives of the study are formulated in the following way.
Research objectives:
1. Development of a prototype of the system for monitoring, recording and localizing the source of structural noise;
2. Development of a noise localization method based on digitization and analysis of audio signal recordings;
3. Testing of the developed method in natural operating conditions of buildings.
Results. The results of a study of noise monitoring under natural operating conditions of a building are presented based on the developed prototype of the system for recording and localizing the source of structural noise. A noise localization method has been developed based on digitization and analysis of the sound signal recording by volume. The advantages and disadvantages of using the method of localizing a noise source by volume level are formulated.
Conclusions. An alternative method for localizing a noise source in architectural and construction practice is proposed, the main difference of which is the principle of determining the position of a noise source by volume level. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the significant reduction in cost and ease of implementation of the noise source localization system.

Key words: noise, localization method, thermal expansion, solar radiation, window structures

For citation: Petrov A.S., Ivantsov A. I. A simplified method for determining the location of a local source of structural noise in a building under operating conditions // News KSUAE, 2023, №4(66) , p. 33-42, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_33, EDN: DGSITN

1. Введение

Для определения координат источника шума в пространстве используют два основных метода. Первый – триангуляция – когда определяются угловые координаты источника звука относительно микрофонов на плоскости. Второй – трилатерация, когда определяют расстояние от источника звука до нескольких микрофонов. Для определения положения источника шума используется информация о временных задержках между парами микрофонов, исходя из того, что координаты каждого микрофона в пространстве известны. Точность алгоритма повышается путем увеличения числа микрофонов и расстояния между ними. Данным методам посвящено большое число работ, которые

сводятся к созданию автоматизированных систем оцифровки акустических сигналов на основе времени задержки [1–3]. При этом важно отметить, что в большинстве работ авторам [4, 5] хорошо известны характеристики источника шума, а именно – спектр и длительность, что существенно упрощает решение проблемы локализации. Так, авторы подобных исследований сами задают частоту источника звука (например, 2-3 кГц), при которой тестируют авторские системы локализации звука на этой частоте [1, 6].

В архитектурно-строительной практике зачастую исследователю не известны точные характеристики источников конструкционного шума, которые могут находится в широком диапазоне частот. При этом природа конструкционного шума может быть различной (деформация, вибрации, трение элементов конструкций и т.д.), где источниками шума могут быть инженерные системы водоотведения, вентиляции и кондиционирования воздуха [7–9]. Более того, сама цель локализации подобных шумов сводится к определению природы источника, его характеристик и с последующим его устранением [10-12], так как необходимо выполнение требований защиты от шума согласно СП 51.13330 «Защита от шума». Большое число работ посвящено защите от шума [13–15] и его контролю [16–19], однако вопрос локализации шума авторами не рассматривается. Проблема локализации источника шума в условиях эксплуатации зданий осложняется еще и спорадичностью шумов, которые могут возникать лишь в определенное время суток или при определенных сочетаниях средовых условий. Так, например, хорошо известна проблема возникновения «щелчков» в конструкциях в связи с их температурным расширением [20], которое в свою очередь может возникнуть в периоды их облучения солнечной радиацией [21]. Другой значимой проблемой локализации источника шума является факт наличия посторонних шумов (транспорт, люди, бытовые приборы в помещении и т.п.), что может маскировать исследуемый источник шума для аппаратуры. Следует также отметить, что источник конструкционного шума может отличаться от точечного источника шума ввиду переноса звуковой волны по протяженным конструктивным элементам, что делает источник линейным. В этом случае методы, основанные на принципе задержки звукового сигнала, могут давать ошибочные результаты, так как полностью зависят от расстояния между микрофоном и точечным источником. Таким образом, основные проблемы существующих методов локализации звука сводятся к следующим:

1. Для реализации метода нужна информация о спектре и длительности конструкционного шума, которая в архитектурно-строительной практике на начальном этапе может быть не известна;
2. При наличии посторонних шумов, исследуемый источник звука может быть «замаскирован» для аппаратуры или «пропущен», что существенно осложнит локализацию, либо сделает ее невозможной;
3. В виду переноса звуковой волны по протяженным конструктивным элементам, локализация точечного источника может давать ошибочные результаты, так как основное условие метода – расстояние между микрофоном и точкой источника звука;
4. Методы могут быть достаточно дорогостоящими, так как предполагают создание комплексной системы из большого числа микрофонов, звуковой карты и автоматизированного программного обеспечения с возможностью регистрации шума с определенным спектром и длительностью.

Учитывая указанные проблемы известных методов, целью исследования является разработка и апробация нового метода локализации источника конструкционного шума в эксплуатационных условиях.

Задачи исследования:

1. Разработка прототипа системы мониторинга, регистрации и локализации источника конструкционного шума;
2. Разработка метода локализации шума на основе оцифровки и анализа записи звукового сигнала;
3. Апробация разработанного метода в натурных условиях эксплуатации зданий.

2. Материалы и методы

Объектом исследования выбрано помещение лоджии жилого здания, где возникают громкие «щелкающие» звуки, что приводит к существенному дискомфорту жильцов . Лоджия расположена на 12 этаже многосекционного жилого дома, рисунок 1. Ориентация лоджии – Север.

Рис.1. Витраж исследуемой лоджии на предмет конструкционного шума (иллюстрация авторов)
Fig.1.Stained glass window of the loggia being examined for structural noise(illustration by the authors)

Витраж представляет собой стоечно-ригельную систему согласно серии МП-640. Светопрозрачная конструкция без терморазрыва серии МП-640 предназначена для остекления балконов и лоджий в жилых и общественных зданиях. На рисунке 2: 1 – плита перекрытия, 2, 3 и 17 – нащельник из оцинкованной стали, 4 – дюбель-гвоздь, 5 – универсальная монтажная пластина, 6 – анкер, 7 – саморасширяющаяся уплотнительная лента, 8 – герметик, 9 – монтажная пена, 10 – закладная, 11 – стойка, 12– ригель, 13 – винт, 14 – штапик, 15 и 16 – уплотнитель.

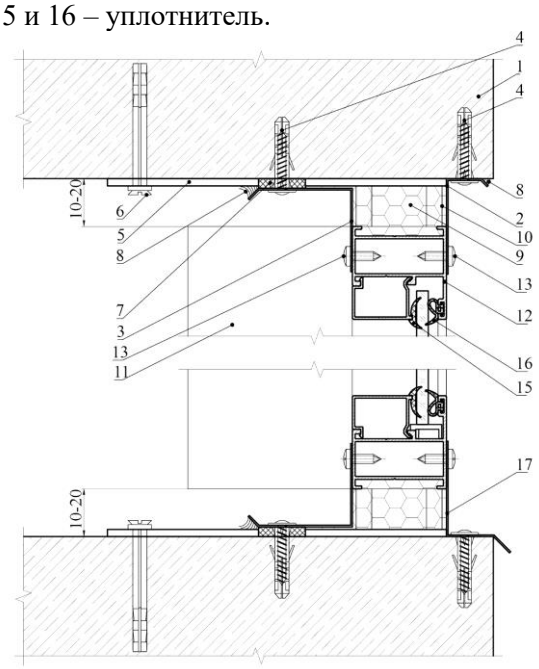


Рис. 2. Примыкание витража при установке в проем между плитами перекрытия (каталог витражных конструкций системы Татпроф)
Fig. 2. Joining a stained glass window when installed in an opening between floor slabs(catalog of stained glass structures of the Tatprof system)

Светопрозрачные конструкции МП-640 (многоячеистые конструкции из рамочных элементов) выполняются по стоечно-ригельному принципу. Стойки и ригели соединяются между собой с помощью «Т»-соединителей и винтов (в виде литых деталей или закладных из экструдированного профиля). Стойки имеют встроенный элемент для навесного монтажа, позволяющий крепить конструкцию через монтажные узлы непосредственно к перекрытиям и подразделяются по исполнениям на угловые, крайние и промежуточные.

Предметом исследования является акустический эффект (щелчки), который возникает в теплый период года в утренние часы. Локализация источника шума и его характеристики на начальном этапе не известны. В качестве предварительного предположения природа акустического эффекта щелчков может быть вызвана температурным расширением элементов конструкции витража лоджии в связи с облучением солнечной радиацией.

Разработанная система мониторинга регистрации и локализации источника конструкционного шума представляет собой набор миниатюрных автоматизированных диктофонов, которые закреплены непосредственно на элементах конструкции. Запись ведется на каждый диктофон в отдельности. Расположение диктофонов сводится к формированию решетки с полным охватом зоны с предполагаемым источником шума. Использование диктофонов вместо микрофонов обусловлено отсутствием необходимости использовать специализированные записывающие устройства и компьютер в период натурных измерений, при этом не требует разработки систем коммутации сигнала от микрофонов к записывающему устройству.

Сущность метода локализации источника шума заключается в сравнительном анализе уровня громкости (дБ) записанного шума каждым из диктофонов в любом доступном программном комплексе обработки звуковых файлов. Положение источника шума определяется в зоне с наибольшим уровнем громкости. Таким образом, принципиальным отличием предлагаемого метода локализации шума является использование амплитудной характеристики звуковых сигналов вместо длительности задержки между ними. Принципиальное решение автоматизации расчета расстояния до источника шума может быть основано на известной закономерности снижения уровня громкости с расстоянием и выражается уравнением :

$$\mathrm{L_p = L_w - \log r - 11},\ \text{дБ},\ \text{дБ} \quad (1)$$

где L_p – уровень давления звука в источнике, дБ; L_w – уровень давления звука на записи диктофона, дБ.

Таким образом расстояние до источника шума *r*может быть выражено как:

$$r = 10^{L_w - L_p - 11},\ \text{м} \quad (2)$$

Если имеется уровень звукового давления (L_{p1}), замеренный на определенном расстоянии (r_1) от источника, и требуется определить уровень звукового давления (L_{p2}) на другом расстоянии (r_2), то применяется следующее уравнение:

$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \cdot \log\frac{r_2}{r_1},\ \text{дБ} \quad (3)$$

Из уравнения 2 очевидно, что точность определения расстояния зависит от погрешности измерений уровней громкости диктофонов. Погрешность величины L_w даже в 1 дБ даст ошибку в расстоянии в 10 раз соответственно. С целью снижения погрешности перед испытанием предлагается использовать стандартный звуковой сигнал с известной громкостью. По данному звуковому сигналу на этапе обработки звуковых дорожек вносится поправка на требуемый уровень громкости, что существенно снижает погрешность результатов расчета. Точность вычислений повысится также при увеличении разницы $L_p - L_w$, что предполагает использование большего числа диктофонов на достаточном удалении друг от друга. Сетка микрофонов показана на фотофиксации прототипа, рисунок 3.

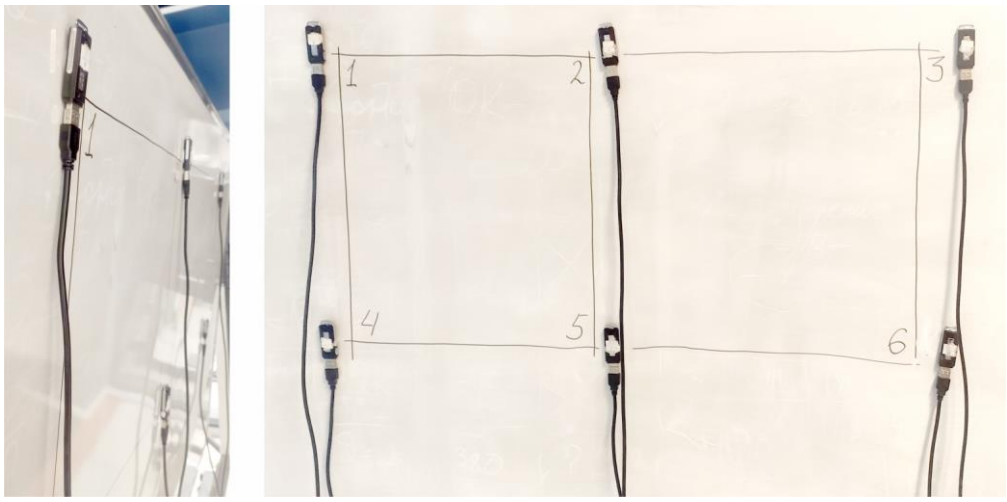


Рис. 3. Прототип сетки диктофонов (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Voice recorder grid prototype (illustration by the authors)

3. Результаты и обсуждение

Натурные испытания проводились с 5 июля 2023 года в период с 16:00 до 7 июля 8:00. В данный календарный период сохранялась ясная погода с преобладанием солнечного сияния, что позволило произвести запись шума в момент температурного расширения витражной конструкции. На первом этапе с целью выявления локализации шумовых эффектов витражной системы (щелчков) на стойки витража были закреплены указанные диктофоны для непрерывной записи звука. Схема расположения диктофонов представлена на схеме, рисунок 4.

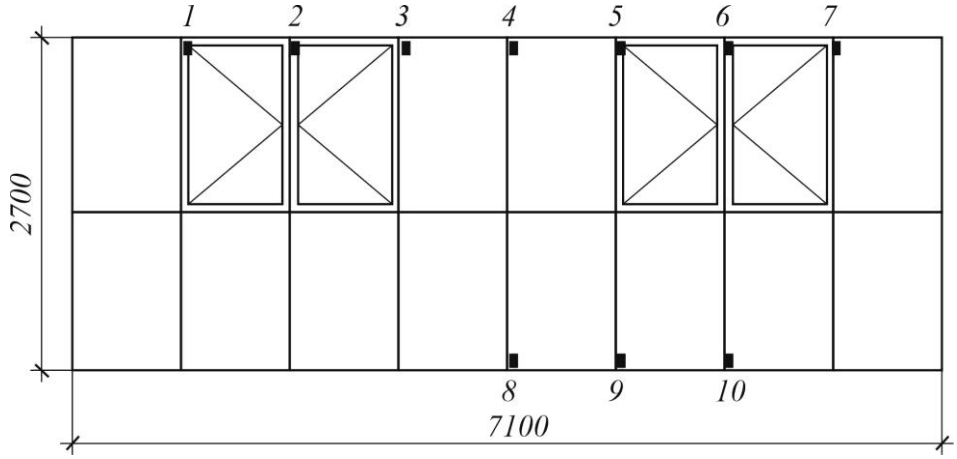


Рис. 4. Схема расстановки диктофонов (вид изнутри) (иллюстрация авторов)
Fig. 4. Voice recorder placement diagram (inside view (illustration by the authors)

На рисунке 5 приведены результаты акустических измерений, обработанные в программе Audacity. Из анализа звуковых дорожек можно видеть, что один и тот же звук щелчка, записанный на разные диктофоны, имеет разный уровень громкости. По логарифмической шкале (dB) видно, что наибольшей амплитудой обладают 5-ый и 9-ый аудио сигнал, что соответствует верхней и нижней области пятой стойки витража.

На втором этапе сетка диктофонов смещалась ближе к источнику шума, после чего натурное испытание записи звука повторялось. Обработка сигнала по аналогии с первым этапом позволила локализовать источник шума, которым оказался конструктивный элемент штапика. Неплотное примыкание штапика к поверхности стекла приводило к его подвижности, и таким образом при температурном расширении происходила его выгибание с характерным щелкающим звуком. В качестве рекомендации по исключению шумового эффекта предложена замена уплотнителей между штапиком и стеклом, а также жесткое крепление штапиков с исключением их подвижности.

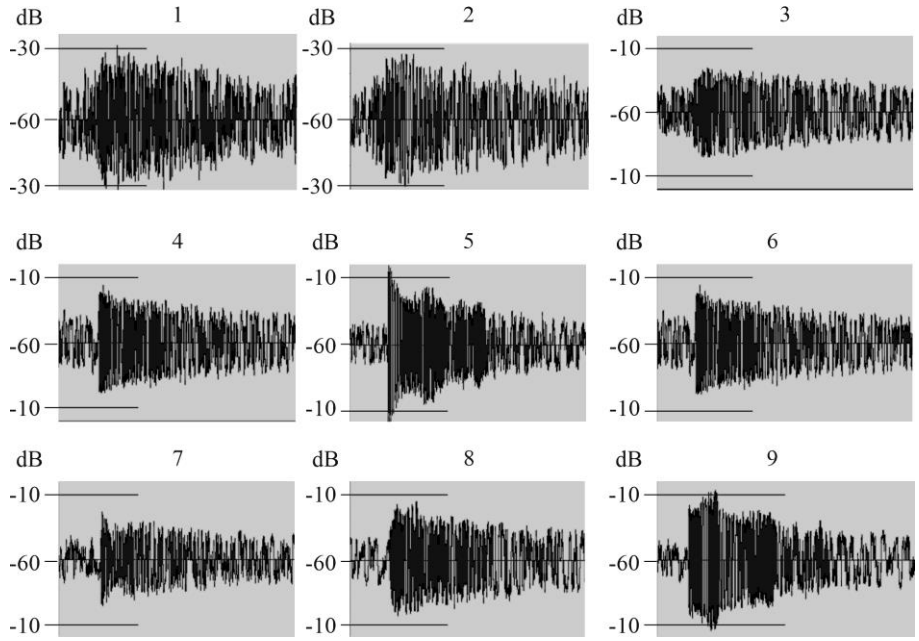


Рис. 5. Амплитудная характеристика аудио семплов (иллюстрация авторов)
Fig. 5. Amplitude characteristic of audio samples (illustration by the authors)

Результаты натурных испытаний показывают, что предложенная система и метод локализации конструкционного шума позволяет достаточно быстро определять положение источника шума в эксплуатационных условиях. Основными достоинствами метода являются:

1. Низкая себестоимость, так как метод требует наличие диктофонов и компьютера для обработки звуковых дорожек на свободном программном обеспечении.
2. Локализация источника шума с различной степенью точности при изменении размеров решетки установки датчиков.
3. Получение информации о времени возникновения и длительности конструкционного шума;
4. Наличие посторонних шумов в моменты натурных испытаний не являются критическими, так как могут быть дифференцированы и исключены оператором на этапе анализа звукозаписи.

Недостатки предложенного метода заключаются в следующем:

1. Необходимость постепенного итерационного сокращения ячеек сетки диктофонов с целью увеличения точности локализации источника шума, что увеличивает время проведения исследования.
2. Необходимость субъективной оценки записанного акустического сигнала с целью отсечения лишних внешних шумов, не относящихся к оцениваемой конструкции.
3. Невозможность точной дифференциации локализации нескольких источников шума с разной громкостью

4. Заключение

1. Разработан прототип системы мониторинга, регистрации и локализации источника конструкционного шума, основанный на группе звукозаписывающих устройств-диктофонов.
2. Разработан метод локализации шума на основе оцифровки и анализа записи звукового сигнала по громкости.
3. Разработанный метод апробирован в натурных условиях эксплуатации зданий. Произведена локализация акустического эффекта (щелчки) на витражной конструкции остекленного балкона, предложено решение по устранению мешающего акустического эффекта.

Список литературы/References

1. Гусев, А. Е. Пространственная локализация источника звука с использованием микрофонных решёток / А. Е. Гусев, О. Е. Бизин, Д. А. Токарев // Перспективные технологии в средствах передачи информации - ПТСПИ-2017 : Материалы 12-ой международной научно-технической конференции, в 2-х томах, Суздаль, 05–07 июля 2017 года. Том 1. – Суздаль: Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2017. – С. 204-206. – EDN YHMGOA[Gusev, A. E. Spatial localization of a sound source using microphone arrays / A. E. Gusev, O. E. Bizin, D. A. Tokarev // Advanced technologies in information transmission media - PTSPI-2017: Materials 12-th international scientific and technical conference, in 2 volumes, Suzdal, July 05–07, 2017. Volume 1. – Suzdal: Vladimir State University. Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov, 2017. – P. 204-206.].
2. Гусев,А.Е. Разработка сенсора на основе микрофонной решётки для локализации источника звука / А. Е. Гусев // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2017. – Т. 7, № 4. – С. 35-39. – EDN VDFKMN [Gusev, A. E. Development of a sensor based on a microphone array for localizing a sound source / A. E. Gusev // DSPA: The issues of applying of digital signal processing. – 2017. – V. 7, No. 4. – P. 35-39.].
3. Kelei Wen, Ye Tian, Zhiyan Dong, Mixed source localization considering mutual coupling and unknown nonuniform noise under exact spatial geometry, Signal Processing, Volume 210, 2023, 109066, ISSN 0165-1684, https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2023.109066.
4. Yusun Shul, Seonbin Lim, Semin Moon, No-Cheol Park, Localization of rattle noise sources in the vehicle underbody using acceleration signals, Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 166, 2022, 108447, ISSN 0888-3270, https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2021.108447
5. J. Prezelj, L. Čurović, T. Novaković, J. Murovec, A novel approach to localization of environmental noise sources: Sub-windowing for time domain beamforming, Applied Acoustics, Volume 195, 2022, 108836, ISSN 0003-682X, https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108836.
6. Чифранов, Г. Н. Локализация источника звука на основе распределенных акустических сенсоров / Г. Н. Чифранов // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2021: VIII Молодежная международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 08–10 апреля 2021 года. – Казань: ИПСагиеваА.Р., 2021. – С. 182-183. – EDNXLDQIT [Chifranov, G. N. Localization of a sound source based on distributed acoustic sensors / G. N. Chifranov // Applied electrodynamics, photonics and living systems - 2021: VIII Youth International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students, Kazan, April 08–10, 2021. – Kazan: IP Sagieva A.R., 2021. – P. 182-183].
7. Petrov, A. Design and calculation of the internal roof drain system structure in terms of thermal protection and moisture condensation / A. Petrov, A. Ivantsov // IOP conference series: Materials Science and Engineering, Kazan, 29 April – 15 May, 2020. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012141. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012141. – EDN ZBWCMP.
8. А. М. Зиганшин, К. Э. Батрова, Г. А. Гимадиева [и др.] Повышение энергоэффективности систем вентиляции посредством профилирования фасонных элементов // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 15(67). – С. 111-123. – EDN IIFIGJ [A. M. Ziganshin, K. E. Batrova, G. A. Gimadieva [etal.] Increasing the energy efficiency of ventilation systems by profiling shaped elements // Construction and industrial safety. – 2019. – No. 15(67). – P. 111-123].
9. А. С. Плотников, Т. С. Жилина, К. В. Афонин, А. А. Сайфуллин. Исследование структурного шума при применении нескольких контуров плавающего пола в крышных котельных // Noise Theory and Practice. – 2021. – Т. 7, № 2(24). – С. 93-102. – EDN TVTOCL [A. S. Plotnikov, T. S. Zhilina, K. V. Afonin, A. A. Sayfullin.

Study of structural noise when using several floating floor circuits in roof boiler rooms // Noise Theory and Practice. – 2021. – V. 7, No. 2(24). – P. 93-102].

10. И. Е. Цукерников, И. Л. Шубин, Н. Е. Щурова, Т. О. Невенчанная. Оценка уровней структурного шума, создаваемого в помещениях верхнего этажа высотного здания колебаниями установленного на кровле шпиля // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – С. 231-236. – EDN LMLANN [I. E. Tsukernikov, I. L. Shubin, N. E. Shchurova, T. O. Nevenchannaya. Assessment of the levels of structural noise created in the premises of the upper floor of a high-rise building by vibrations of a spire installed on the roof // Academia. Architecture and construction. – 2009. – No. 5. – P. 231-236.].
11. М. Ю. Владимиров, О. И. Клименкова, Н. К. Калашникова, И. П. Чеботарев. Структурный шум от насосов отопления и проблемы его снижения в жилых и общественных зданиях // Строительство и техногенная безопасность. – 2016. – № 4(56). – С. 87-91. – EDN WWURML [M. Yu. Vladimirov, O. I. Klimenkova, N. K. Kalashnikova, I. P. Chebotarev. Structural noise from heating pumps and problems of its reduction in residential and public buildings // Construction and industrial safety. – 2016. – No. 4(56). – P. 87-91].
12. O. Flodén, A. Peplow, P. Persson, Predicting structure-borne noise in cross-laminated timber buildings during conceptual design, Finite Elements in Analysis and Design, Volume 225, 2023, 104005, ISSN 0168-874X, https://doi.org/10.1016/j.finel.2023.104005.
13. Перекрест, Д. И. Оперативные карты шума аудиторий учебных заведений и оценка шума на рабочих местах / Д. И. Перекрест // Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы: Материалы региональной научно-практической конференции студентов и аспирантов, Владивосток, 08–28 декабря 2020 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2021. – С. 364-368. – EDN RWEJTY [Perekrest, D. I. Operational noise maps of classrooms of educational institutions and noise assessment in workplaces / D. I. Perekrest // Science, technology, industrial production: history, current state, prospects: Materials of the regional scientific-practical conference of students and graduate students, Vladivostok, December 08–28, 2020. – Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2021. – P. 364-368.].
14. Л. Н. Петрянина, Е. А. Халанская, А. А. Кузькин. Совершенствование мероприятий защиты от шума в градостроительном проектировании с целью снижения акустического дискомфорта жилых районов // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2022. – № 1(38). – С. 167-173. – EDN ZHRQOQ [L. N. Petryanina, E. A. Khalanskaya, A. A. Kuzkin. Improving noise protection measures in urban planning to reduce acoustic discomfort in residential areas // Education and science in the modern world. Innovations. – 2022. – No. 1(38). – P. 167-173.].
15. Геппель, С. А. Защита жилых зданий от внешних источников шума специальными шумозащитными конструкциями // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 12(84). – С. 382-391. – EDN QIUAFZ [Geppel, S. A. Protection of residential buildings from external noise sources with special noise-protective structures // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2021. – No. 12(84). – P. 382-391.].
16. Бояров, Е. В. Исследование защиты от воздействия шума автомобильного транспорта // Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы: Материалы региональной научно-практической конференции студентов и аспирантов, Владивосток, 08–28 декабря 2020 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2021. – С. 338-340. – EDN MDDGZC [Boyarov, E. V. Study of protection from the effects of noise from road transport // Science, technology, industrial production: history, current state, prospects: Materials of the regional scientific and practical conference of students and graduate students, Vladivostok, 08 –December 28, 2020. – Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2021. – P. 338-340.].
17. А. Н. Чашинский, И. А. Богданов. Защита от производственного шума в строительстве // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного

производства : материалы международной научной конференции студентов и магистрантов, Горки, 15–16 марта 2023 года / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Главное управление образования, науки и кадровой политики, Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 194-197. – EDN SZUMIW[A. N. Chashinsky, I. A. Bogdanov. Protection from industrial noise in construction // Current issues of mechanization of agricultural production: materials of the international scientific conference of students and undergraduates, Gorki, March 15–16, 2023 / Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, Main Directorate of Education, Science and Personnel Policy, Belarusian State Orders of the October Revolution and the Red Banner of Labor Agricultural Academy. – Gorki: Belarusian State Agricultural Academy, 2023. – P. 194-197.].

18. Омаров, А. О. Инновационные методы защиты зданий и сооружений от шума // Неделя науки - 2023: Сборник материалов 44 итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ, Махачкала, 17–29 апреля 2023 года. – Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2023. – С. 297-298. – EDN KKMKWU [Omarov, A. O. Innovative methods of protecting buildings and structures from noise // Nedelya nauki - 2023: Collection of materials of the 44th final scientific and technical conference of teachers, staff, graduate students and students of DSTU, Makhachkala, April 17–29, 2023. – Makhachkala: Dagestan State Technical University, 2023. – P. 297-298.].
19. В. Л. Мурзинов, П. В. Мурзинов Звукоподавляющие панели для защиты от шума на путях его распространения // Безопасность труда в промышленности. – 2018. – № 2. – С. 5-11. – DOI 10.24000/0409-2961-2018-2-5-11. – EDN YNZETO [V. L. Murzinov, P. V. Murzinov Sound-suppressing panels for protection against noise along the paths of its propagation // Labour safety in industry. – 2018. – No. 2. – P. 5-11].
20. I. S. Aksenov, A. P. Konstantinov. Temperature Deformations of PVC Window Profiles with Reinforcement // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – Vol. 18, No. 2. – P. 98-111. – DOI 10.22337/2587-9618-2022-18-2-98-111. – EDN PSKLLH.
21. А. И. Иванцов, В. Н. Куприянов. Температурный режим поверхности ограждающих конструкций зданий в климатических условиях РФ // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – № 3(19). – С. 44-50. – EDNZSMCKH [A. I. Ivantsov, V. N. Kupriyanov. Temperature regime of the surface of building envelopes in the climatic conditions of the Russian Federation // Biosphere compatibility: people, region, technologies. – 2017. – No. 3(19). – P. 44-50.].

Информация об авторах

Артем Сергеевич Петров, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: ruarty@mail.ru
Алексей Игоревич Иванцов, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: ivantsov.arch@mail.ru

Information about the authors

Artem S. Petrov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: ruarty@mail.ru
Aleksey I. Ivantsov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: ivantsov.arch@mail.ru

УДК: 624.012
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_43
EDN: DKATJJ

Исследование численной модели напряжённо-деформированного состояния железобетонной балки, усиленной углепластиком

А. Р. Шакиров[1], Ф. Р. Шакирзянов[1], А. М. Сулейманов[12]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* При усилении железобетонных конструкций системой внешнего армирования из углепластиков преимущественно применяются эпоксидные адгезивы. Наиболее податливым к воздействию эксплуатационных факторов компонентом данных систем является именно эпоксидный адгезив. Для изучения долговечности конструкций, усиленных системой внешнего армирования, необходимо изучить напряженно-деформированное состояние контактного слоя. Целью данной работы является исследование численной модели напряжённо-деформированного состояния железобетонной балки, усиленной углепластиком. Задачи исследования: разработка конечно-элементной модели, железобетонной балки, усиленной углепластиком; выполнение расчета и анализ результатов.
Результаты. По результатам расчетов видно, что деформации бетона и деформации углепластика сильно отличаются. Деформации на бетоне существенно больше деформаций на углепластике. Такое развитие деформаций свидетельствует о смещении в зоне контактного слоя между бетоном и углепластиком.
Выводы. Проведено конечно-элементное моделирование железобетонной балки, усиленной системой внешнего армирования. В результате подбора различных моделей удалось разработать наиболее подходящую расчетную модель с хорошей сходимостью результатов с экспериментальными данными.

Ключевые слова: внешнее армирование, численный расчет, усиление, углепластик, эпоксидный адгезив

Для цитирования: Шакиров А. Р., Шакирзянов Ф. Р., Сулейманов А. М. Исследование численной модели напряжённо-деформированного состояния железобетонной балки, усиленной углепластиком // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.43-52, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_43, EDN: DKATJJ

Research of a numerical model of the stress-strain state of a reinforced concrete beam strengthened with carbon fiber

A. R. Shakirov[1], F. R. Shakirzyanov[1], A.M. Suleymanov[12]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* When reinforcing reinforced concrete structures with an external reinforcement system made of carbon fiber, epoxy adhesives are mainly used. The component of these systems that is most susceptible to the effects of operational factors is precisely the epoxy adhesive. To study the durability of structures reinforced with external reinforcement system, it is necessary to study the stress-strain state of the contact layer. The purpose of this work is to study a numerical model of the stress-strain state of a reinforced concrete beam

reinforced with carbon fiber. Research objectives: development of a finite element model, reinforced concrete beam reinforced with carbon fiber; calculation and analysis of the results.
Results. According to the results of calculations, it can be seen that concrete deformations and carbon fiber deformations are very different. Deformations on concrete are significantly greater than deformations on carbon fiber. This development of deformations indicates a displacement in the zone of the contact layer between concrete and carbon fiber.
Conclusions. Finite element modeling of a reinforced concrete beam reinforced with an external reinforcement system has been carried out. As a result of the selection of various models, it was possible to develop the most suitable computational model with good convergence of the results with experimental data.

Keywords: external reinforcement, numerical calculation, reinforcement, carbon fiber, epoxy adhesive

For citation: Shakirov A. R., Shakirzyanov F. R., Suleymanov A. M. Investigation of a numerical model of the stress-strain state of a reinforced concrete beam strengthened with carbon fiber // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.43-52, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_43, EDN: DKATJJ

1. Введение

Системы внешнего армирования (СВА) железобетонных конструкций углеродными волокнами широко применяется в строительной практике [1-3]. Наряду с опытом применения данных систем активно развиваются и исследования в данной области как в отечественной науке [4-6], так и у зарубежных коллег [7, 8]. На сегодняшний день разработаны методы конструирования и расчета усиления железобетонных конструкций системами внешнего армирования [9-11] и разработан свод правил СП 164.1325800.2014.

Несмотря на обширный опыт применения и очевидные преимущества СВА при усилении строительных конструкций, в отечественной строительной практике преобладают более консервативные методы усиления [14]. Вероятно, что от более широкого применения сдерживает фактор недоверия к данным системам в длительной перспективе. Ведь известно, что строительные конструкции в процессе длительной эксплуатации подвергаются воздействию сочетания различных факторов – нагрузка (постоянная и временная), температура, влага, ультрафиолет и т. п. Таким образом, справедливо возникает вопрос изучения долговечности конструкций, усиленных СВА.

Усиление железобетонных конструкций углеродными волокнами как правило выполняют при помощи эпоксидных адгезивов. Слабым звеном в системе «бетон-эпоксидный адгезив-углепластик» является именно адгезионный слой. Для разработки методик по изучению долговечности СВА необходимо изучить напряженно-деформированное состояние (НДС) усиленной конструкции в целом и самого адгезионного слоя в частности. Необходимо понимать характер развития напряжений и деформаций в зоне контактного слоя.

Для изучения НДС железобетонной балки, усиленной СВА, параллельно были выполнены ряд исследований:

1) Экспериментальное исследование напряжённо-деформированного состояния железобетонных балок, усиленных углепластиком [15].
2) Исследование численной модели напряжённо-деформированного состояния железобетонной балки, усиленной углепластиком.

Вопросы численного моделирования напряженно-деформированного состояния композитных материалов [16, 17], а также усиления элементов строительных конструкций в целом [18, 19] рассмотрены в работах таких авторов как Николюкин А.Н., Бокарев С. А, Савина С. Н. и др.. В работе Бокарева С. А. [18] проведено численное исследование железобетонной балки, усиленной композитными материалами. При этом авторы приводят сравнение результатов отечественных и зарубежных экспериментальных исследований с результатами численного расчета. По итогам данного сравнения отмечается хорошая сходимость расчетных и экспериментальных данных.

В данной работе была построена конечно-элементная модель в ПК ANSYS с целью выявления закономерностей НДС в зоне контактного слоя. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Разработка конечно-элементной модели, позволяющей адекватно оценить напряженно-деформированного состояния железобетонной балки, усиленной системой внешнего армирования из углепластика, под действием нагрузки.
2) Выполнение расчета и анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной балки, усиленной СВА, по результатам расчета.

2. Материалы и методы

Для моделирования НДС выбран образец по аналогии с экспериментальным исследованием [15] представляющий собой железобетонную балку, усиленной СВА. Расчетная схема образца представлена на рис. 1. Расчетная нагрузка P=4 т (39240 Н).

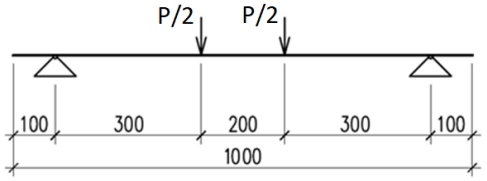


Рис. 1. Расчетная схема (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Calculation scheme (illustration by the authors)

Образец моделировался при помощи модуля SpaceClaim ПК ANSYS (рис. 2). 3D-модель выполнена в виде балки прямоугольного сечения согласно опалубочным чертежам (рис. 3) шириной 120 мм, высотой 140 мм, общей длиной 1000 мм. Арматурные стержни смоделированы двумя объемными стержнями диаметром 8 мм и длиной 1000 мм в нижней зоне.

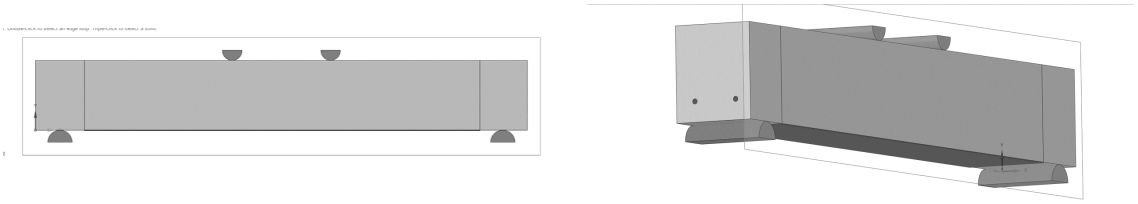


Рис. 2. Моделирование 3D-модели образца в SpaceClaim (иллюстрация авторов)
Fig. 2. Modeling of a 3D model of a specimen in SpaceClaim (illustration by the authors)

Усиление балки выполнено в нижней растянутой зоне одним слоем углепластика на эпоксидном адгезиве. Ширина углепластика принята на ширину балки в 120 мм, длина усиления 700 мм.

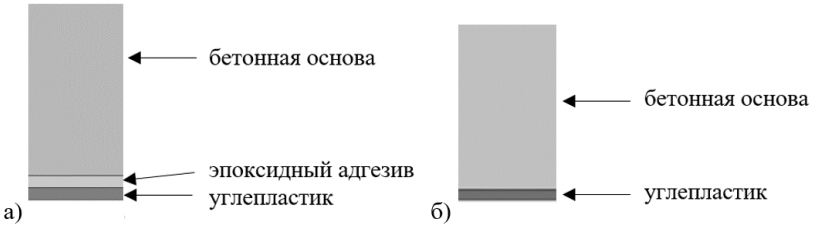


Рис. 3. Варианты моделирования усиления: а) – модель усиления двумя слоями – эпоксидный адгезив и углеволокно толщиной по 1 мм каждый; б) модель усиления одним слоем толщиной 1 мм (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Reinforcement modeling options: a) – reinforcement model with two layers – epoxy adhesive and carbon fiber with a thickness of 1 mm each; b) reinforcement model with one layer with a thickness of 1 mm (illustration by the authors)

Для расчета было смоделировано два варианта модели усиления (рис. 3):

1. Усиление смоделировано двумя слоями:
   - адгезионный слой – объемное тело толщиной 1 мм;
   - углепластик в виде объемного тела в 1 мм.
2. Усиление смоделировано одним объемным элементом толщиной в 1 мм. Контактный слой задан модель контактной зоны (Cohesive zone model – CZM).

В качестве опор и нагружающих катков предусмотрены объемные элементы в виде полуцилиндров. Расположение полуцилиндров принято согласно расчетной схеме (рис.1).

Описание моделей материалов

Для стальной арматуры, опор и нагружающих катков задан стандартный материал Structural Steel из библиотеки материалов ANSYS с характеристиками для стальной арматуры А400. Принятые характеристики стали приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики материала Structural Steel

№	Наименование параметра /Property	Значение величины / Value	Единицы измерения / Unit
1	Плотность / Density	7850	кг/м^3
2	Начальный модуль упругости / Young's Modulus	2.10E+05	МПа
3	Значение предела упругости / Tensile Yield Strength	250	МПа
4	Предел текучести при сжатии / Compressive Yield Strength	250	МПа
5	Предел прочности при растяжении / Tensile Ultimate Strength	400	МПа
6	Коэффициент Пуассона / Poisson's Ratio	0,3	

Характеристики бетона заданы стандартным материалом Concrete из библиотеки материалов ANSYS с характеристиками для бетона класса В15 согласно СП 63.13330.2018. Принятые характеристики бетона приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики материала Concrete B15

№	Наименование параметра / Property	Значение величины / Value	Единицы измерения / Unit
1	Плотность / Density	2300	кг/м^3
2	Начальный модуль упругости / Young's Modulus	2000	МПа
3	Предел текучести при сжатии / Compressive Yield Strength	8,5	МПа
4	Предел прочности при растяжении / Tensile Ultimate Strength	0,75	МПа
5	Коэффициент Пуассона / Poisson's Ratio	0,18	

Характеристики углепластика и эпоксидного адгезива заданы по паспорту производителя. В качестве усиления выбраны углеткань FibArm Tape 230/300 и эпоксидный адгезив FibArm Resin 230+ (табл. 3 и табл. 4).

Таблица 3

Характеристики материала FibArm Tape 230/300

№	Наименование параметра / Property	Значение величины / Value	Единицы измерения / Unit
1	Плотность / Density	1800	кг/м^3
2	Начальный модуль упругости в продольном направлении / Young's Modulus X direction	38200	МПа
3	Начальный модуль упругости в поперечном направлении / Young's Modulus Y, Z direction	8600	МПа
4	Коэффициент Пуассона относительно XY и XZ / Poisson's Ratio XY, XZ	0,27	
5	Коэффициент Пуассона относительно YZ / Poisson's Ratio YZ	0,4	
6	Модуль сдвига относительно XY и XZ / Shear Modulus XY, XZ	32,1	МПа
7	Модуль сдвига относительно YZ / Shear Modulus YZ	8,5	МПа

Таблица 4

Характеристики материала FibArm Resin 230+

№	Наименование параметра / Property	Значение величины / Value	Единицы измерения / Unit
1	Плотность / Density	1800	кг/м^3
2	Начальный модуль упругости / Young's Modulus	63800	МПа
3	Коэффициент Пуассона / Poisson's Ratio	0,35	
4	Модуль упругости при сдвиге / Shear Modulus	236	МПа
5	Объемный модуль / Bulk Modulus	708	МПа
6	Значение предела текучести / Yield Strength	10	МПа

Для выполнения расчета с учетом ползучести эпоксидного адгезива для материла FibArm Resin 230+ дополнительно были введены параметры ползучести. Для описания ползучести была выбрана модель Time Hardening (Упрочнение во времени):

$$\varepsilon_{cr} = C_1 \sigma^{C_2} t^{C_3} e^{-C_4/T} \quad [20]$$

где ε_{cr} – изменение эквивалентной деформации ползучести во времени;

σ – напряжение, МПа;

Т – температура, К;

t – время завершения одной ступени, с;

$C_1 - C_4$ – константы;

e – основание натурального логарифма.

Подставляя экспериментальные значения ползучести для эпоксидного адгезива в уравнение ползучести определили константы ползучести: *C_1=1,887; C_2=0; C_3=0,017; C_4=-318.*

Назначение контактов и связей

Для моделирования контактных задач в ПК ANSYS существуют различные инструменты. В данной работе была выбрана модель контактной зоны - Cohesive zone model (CZM). Данная модель рассматривает разрушение в контактной зоне как расслоение поверхностей с образованием межслойной трещины, а от ее развития удерживает сила сцепления. Работа контактной зоны характеризуется нормальными и касательными напряжения и зазорами расслоения – нормальные зазоры и тангенциальное скольжение. Подразумевается три вида разделения контактной зоны:

1) Нарушение сцепления по нормали (отрыв);
2) Тангенциальное разделение (сдвиг);
3) Смешанный вид разделения по нормали и касательной. [21]

Совместная работа между бетоном и арматурой, бетоном и углепластиком обеспечена типом соединения «Bonded» (связанный). Для контактного слоя между бетоном и углепластиком для второго варианта модели задан параметр разрушения (Fracture) расслоение контакта (Contact Debonding) с заданием модели CZM.

Построение сетки конечных элементов

Размер конечно-элементной сетки для бетона принят 30 мм (рисунок 4). Опоры, стальная арматура, углеволокно смоделированы сеткой размерами по 10 мм.

Параметры расчета

Для достижения сходимости результатов расчета и экспериментального исследования было произведено последовательное моделирование параметров расчета. Следует выделить следующие основные варианты расчетной модели:

1) Расчет модели с усилением двойным слоем:
   а) расчет с заданным параметром ползучести для эпоксидного адгезива;
   б) расчет без учета параметра ползучести.

2) Расчет модели с усилением одним слоем и материалом контактного слоя (CZM).

Для предотвращения перемещения опор заданы неподвижные опоры. Нагрузка приложена на поверхности нагружающих катков параметром «Force».

Для расчета были заданы следующие результаты расчетов:

1) Total deformation – полные перемещения;
2) Equivalent Elastic Strain – эквивалентные упругие деформации;
3) Normal Elastic Strain – нормальные упругие деформации;
4) Equivalent Stress – эквивалентные напряжения;
5) Contact Tool: Sliding Distance – контактные результаты: относительное смещение в зоне контакта.

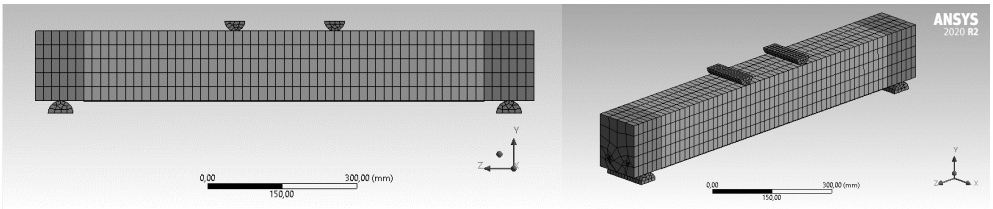


Рис. 4. Сетка конечных элементов (иллюстрация авторов)
Fig. 4. Finite element grid (illustration by the authors)

3. Результаты и обсуждение

При расчете модели с двойным слоем без учета ползучести максимальный прогиб балки составил 0,6 мм. Что многократно отличается от экспериментальных данных. Для сходимости расчетных значений с экспериментальными данными был выполнен расчет с учетом ползучести адгезива. Данное решение не позволило получить адекватных результатов.

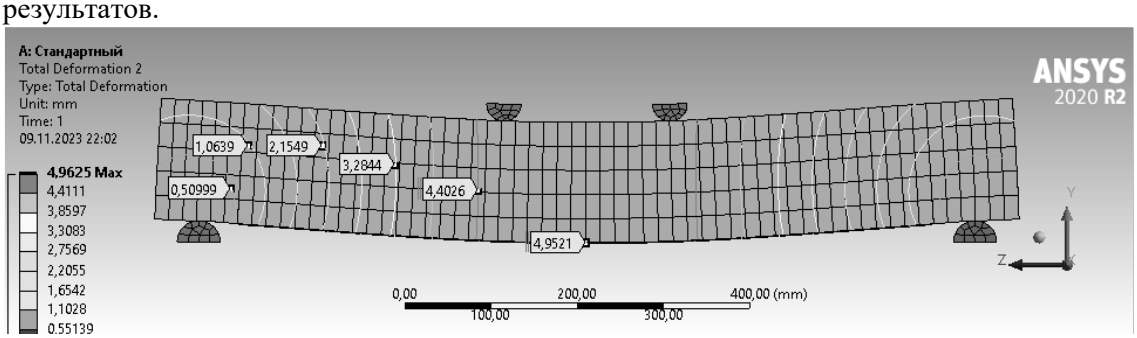


Рис. 5. Распределение перемещений (иллюстрация авторов)
Fig. 5. Distribution of displacements (illustration by the authors)

Хорошая сходимость результатов расчетов с экспериментальными данными была достигнута на модели с усилением одним слоем и модель контактной зоны. Далее более подробно рассмотрим полученные результаты.

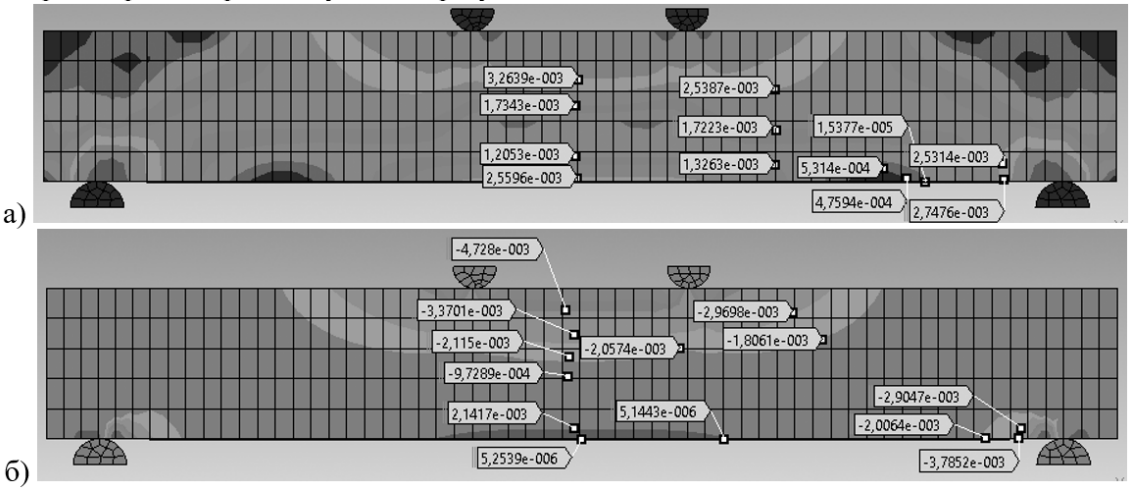


Рис. 6. Распределение деформаций: а – эквивалентные упругие деформации; б – нормальные упругие деформации (иллюстрация авторов)
Fig. 6. Distribution of deformations: a – equivalent elastic deformations; b – normal elastic deformations (illustration by the authors)

По результатам расчета модели с усилением одним слоем и моделью контактной зоны максимальный прогиб под нагрузкой 39240 Н составил 4,95 мм (рисунок 5). По результатам экспериментов прогиб при нагрузке 39240 Н составил 6 мм [15]. Отклонение результатов расчета с экспериментальным по прогибам составляет 17%. В работе [18] авторы приводят сходимость результатов расчетов с экспериментальными данными по несущей способности в пределах от –20 до +4 % и от –24 до –6 %.

По распределению деформаций (рис. 6) видно, что в растянутой зоне бетона максимальные деформации образуются в середине пролета и на приопорных зонах по краям углепластика. Деформации на самом углепластике минимальны – $4{,}05 \cdot 10^{-6}$ (мм/мм), а распределение деформаций происходит равномерно по всей длине усиления.

Аналогичная картина наблюдается и по распределению эквивалентных напряжений (рис. 7). В зоне усиления максимальные напряжения возникают по середине пролета и на приопорных зонах – на концах углепластика.

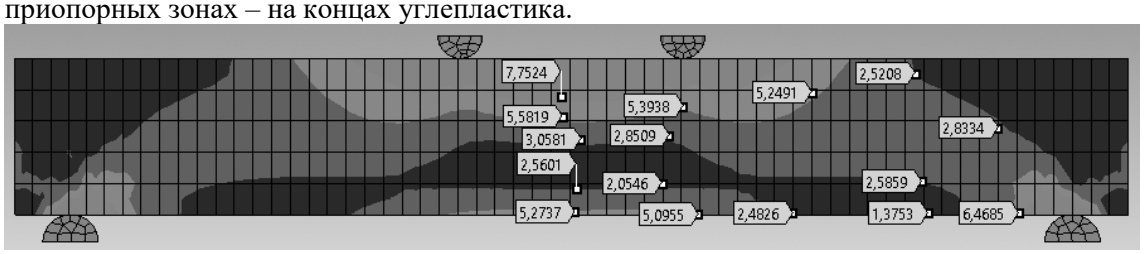


Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений (иллюстрация авторов)
Fig. 7. Distribution of equivalent stresses (illustration by the authors)

В растянутой зоне образца по контактному слою между бетоном и углепластиком образовалось деформация смещения. Из результатов Sliding Distance относительное смещение в зоне контакта составило 0,5 мм (рисунок 8).

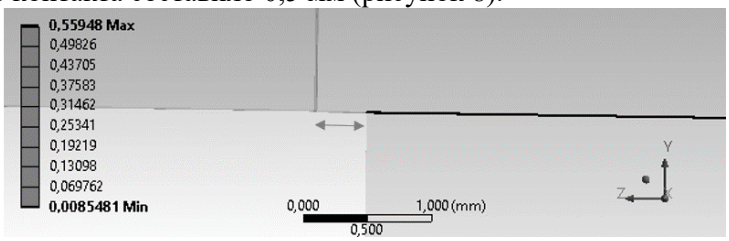


Рис. 8. Смещение по контактной зоне (иллюстрация авторов)
Fig. 8. Displacement along the contact zone (illustration by the authors)

Как показывают результаты расчета, деформации бетона и деформации углепластика сильно отличаются – деформации на бетоне существенно больше деформаций на углепластике. Данное поведения НДС образца можно объяснить тем, что модуль упругости углепластика в разы превышает модуль упругости бетона. Под действием изгибающей нагрузки в бетоне образуются трещины, возникают деформации растяжения. Углепластик в свою очередь воспринимает те же усилия растяжения с незначительными деформациями. При этом такое разное сопротивление растягивающим усилиям приводит к смещению в зоне контактного слоя.

4. Заключение

Проведено конечно-элементное моделирование железобетонной балки, усиленной СВА в ПК Ansys. В результате подбора различных моделей удалось разработать наиболее подходящую расчетную модель с отклонением результатов с экспериментальными данными по прогибам всего на 13%. Анализ численной модели показал, что в напряженно-деформированном состоянии бетон и углепластик деформируются по-разному. При этом деформации на углепластике минимальны – 4,05·10-6 (мм/мм). Графический анализ деформаций по контактному слою позволил визуализировать смещение по границе контакта между бетоном и углепластиком со значением 0,5 мм.

Список литературы/ References

1. Kobayashi A., Hidekuma Y., Tateishi A. Strengthening of steel and concrete structures using CFRP in Japan // IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-III, August 21–22, 2015, Dhaka, Bangladesh. P. 597–606.
2. Zhuang N., Dong H., Chen D., Ma Y. Experimental Study of Aged and Seriously Damaged RC Beams Strengthened Using CFRP Composites // Hindawi Advances in Materials Science and Engineering, Published 2018, 9 pages.
3. Смолина М.В. Прохорова А.Е. Опыт применения системы внешнего армирования железобетонных пролетных строений автодорожных мостов композитными материалами в условиях Крайнего Севера // Техническое регулирование в транспортном строительстве. - 2016 г.. - №1. [Smolina M.V. Prokhorova A.E. Experience of using the system of external reinforcement of reinforced concrete superstructures of road bridges with composite materials in the conditions of the Far North // Technical regulation in transport construction. - 2016.. - No. 1.]
4. Бокарев С.А. Костенко А.Н., Смердов Д.Н., Неровных А.А. Экспериментальные исследования при пониженных и повышенных температурах железобетонных образцов, усиленных полимерными композиционными материалами // Интернет-журнал "Науковедение". - 2013 г.. - №3. [Bokarev S.A. Kostenko A.N., Smerdov D.N., Nerovnykh A.A. Experimental studies at low and elevated temperatures of reinforced concrete samples strengthened with polymer composite materials// Online journal "Science Studies". - 2013.. - No. 3.]
5. Евдокимов А.А., Имаметдинов Э.Ш., Малаховский С.С.. Усиление строительных конструкций из бетона системой внешнего армирования из углепластика // ТРУДЫ ВИАМ №10 (92) 2020. [Evdokimov A.A., Imametdinov E.Sh., Malakhovskiy S.S.. Strengthening concrete building structures via external reinforcement system from carbon plastic// PROCEEDINGS OF VIAM No. 10 (92) 2020.] DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-73-80.
6. Овчинников И.И. Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 1. Отечественные эксперименты при статическом нагружении // Интернет-журнал "Науковедение". - 2016 г.. - №3 : Т. 8. [Ovchinnikov I.I. Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhalkin E.S. Analysis of experimental studies on strengthening reinforced concrete structures with polymer composite materials. Part 1. Domestic experiments with static loading // Online journal "Science Studies". - 2016.. - No. 3 : Vol. 8.]
7. Azevedo, Thalles & Ferreira, Danilo & Sanchez, Joel & Sampaio, Eduardo & Assis, Joaquim. (2020). Mechanical behavior to shear of reinforced concrete beams reinforced with carbon fibers bonded with epoxy adhesive. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782). 5. 10.21575/25254782rmetg2020vol5n21158.
8. Chung, Deborah. (2022). A Review of Self-Sensing in Carbon Fiber Structural Composite Materials. World Scientific Annual Review of Functional Materials. 01. 10.1142/S2810922822300045.
9. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Фролов К.Е.. Методика расчета на прочность нормальных сечений железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных внешним армированием на основе углеродных материалов // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования – 2017 Vol. 18 No 1 20—28. [O.D. Rubin, Lisichkin S.E., Frolov K.E.. The method of calculating the strength of normal sections of reinforced concrete structures of hydraulic facilities strengthened with external reinforcement based on carbon materials // Bulletin of the RUDN. Series: Engineering Research – 2017 Vol. 18 No. 1 20-28.] DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-1-20-28.
10. Клюев С.В., Рубанов В.Г., Павленко В.И., Гурьянов Ю.В., Гинзбург А.В. Расчет строительных конструкций усиленных углеволокном // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – №5. – С. 54 – 56. [Klyuev S.V., Rubanov V.G., Pavlenko V.I., Guryanov Yu.V., Ginzburg A.V. Calculation of carbon fiber reinforced building structures // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. - 2013. – No. 5. – P. 54-56.]

11. Khmelidze, Tamaz & Khutsishvili, Shalva & Jerenashvili, Qetevan. (2022). Strength Calculation of Ferroconcrete Column Reinforced by Carbon Composite Tape. Works of Georgian Technical University. 124-132. 10.36073/1512-0996-2022-3-124-132.
12. Kuzina, E & Rimshin, V. (2020). Calculation Method Analysis for Structure Strengthening with External Reinforcement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 753. 022004. 10.1088/1757-899X/753/2/022004.
13. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. – М., ОАО «Издательство «Стройиздат», 2007. 181 с. [Shilin A.A., Pshenichny V.A., Kartuzov D.V. External reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials. – M., JSC "Publishing House "Stroyizdat", 2007. 181 p.]
14. Арленинов П.Д., Крылов С.Б. Примеры усиления аварийных железобетонных конструкций // Жилищное строительство. 2018. № 5. С. 19–23. [Arleninov P.D., Krylov S.B. Examples of strengthening of dangerous reinforced concrete structures. Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]. 2018. No. 5, pp. 19–23]
15. Сулейманов А.М., Шакиров А.Р. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных балок, усиленных углепластиком // Строительные материалы. 2023. № 4. С. 10–17. [Suleymanov A.M., Shakirov A.R. Experimental study of the stress-strain state of reinforced concrete beams reinforced with carbon fiber. 2023. No. 4. P. 10-17.] DOI: https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-10-17
16. Николюкин А.Н., Ярцев В.П., Коломникова И.И. Численное моделирование композитной арматуры для задачи сцепления с бетоном. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019, №5. [Nikolyukin A.N., Yartsev V.P., Kolomnikova I.I. Numerical modeling of composite reinforcement for the task of adhesion to concrete. // Bulletin of V.G. Shukhov BSTU, 2019, No. 5.] DOI: 10.34031/article_5ce292ca089623.21062637
17. Barabash, Maria & Genzerskyi, I & Pikul, Anatol & Bashynska, Olga. (2017). Composite materials and composite structures modeling methods on «lira-sapr». Building constructions. Theory and Practice. 1. 90-98. 10.32347/2522-4182.1.2017.90-98. Бокарев С. А., Смердов Д. Н.. Нелинейный анализ железобетонных изгибаемых конструкций, усиленных композитными материалами. // Вестник ТГАСУ № 2, 2010. [Bokarev S. A., Smerdov D. N.. The nonlinear analysis of bending reinforced concrete structures strengthened by composite materials // Bulletin of TSASU No. 2, 2010]
18. Савин С. Н., Демишин С. В. Эффективность усиления железобетонных колонн внешним армированием углеволокном // Жилищное строительство Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. М.; Ладья;. 2011. - № 7. - С. 35-36 RU-ToGUA. [Savin S. N., Demishin S. V. Efficiency of strengthening of reinforced concrete columns by external carbon fiber reinforcement // Housing construction Monthly scientific, technical and production journal. M.; Ladya;. 2011. - No. 7. - P. 35-36 RU-ToGUA]
19. ANSYS Mechanical APDL Element Reference. Release 13.0. November 2010.
20. Кашеварова Г.Г., Мартиросян А.С., Травуш В.И. Расчетно-экспериментальное исследование процесса разрушения связей сцепления при вдавливании стержня жесткой арматуры в бетон // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. – № 3. – С. 62–75. [Kashevarova G.G., Martirosyan A.S., Travush V.I. Computational and experimental research of the contact debonding process when rigid reinforcement is pressed into concrete. PNRPU Mechanics Bulletin. 2016. No. 3. P. 62-75.] DOI: 10.15593/perm.mech/2016.3.04

Информация об авторах

Шакирзянов Фарид Рашитович, кандидат физико-математических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
Email: faritbox@mail.ru

Шакиров Алмаз Райнурович, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alma-94@mail.ru
Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан , г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru

Information about the authors

Farid R. Shakirzyanov, Candidate of physical and mathematical sciences, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: faritbox@mail.ru
Almaz R. Shakirov, graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: alma-94@mail.ru
Alfred M. Suleymanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corr.-m. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru

УДК: 624.152
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_53
EDN: EPCSQR

Исследование влияния фактора времени на прочность глин

И.В. Королева[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* При проектировании оснований фундаментов возникает вопрос о механических характеристиках грунтов, используемых в расчетах по предельным состояниям, особенно, если в качестве внешнего воздействия рассматривается циклическое нагружение. При этом не учитывается фактор «время», что сооружение возводится и эксплуатируется длительный период. Одним из путей решения данного вопроса может быть изучение изменения свойств грунтов во времени. Основной целью данного исследования является выявление особенностей изменения прочности образцов глинистого грунта в условиях трехосного циклического нагружения при разных значениях времени выдержки в эксикаторе до и в процессе нагружения. Задачи исследования – выявление графических зависимостей и закономерностей изменения прочности грунта во времени и обоснование полученных результатов.
Результаты. Экспериментальные исследования выполнены на образцах цилиндрической формы, изготовленных из грунта нарушенной структуры. Основными результатами выполненных исследований являются новые данные об изменении прочности образцов в условиях трехосного нагружения зависимости от режима нагружения с учетом времени «выдержки до испытания» и «отдыха в процессе испытания». Выполнен анализ результатов исследований и установлены некоторые закономерности поведения глинистых грунтов при режимных трехосных нагружениях.
Выводы. Установление влияния времени на изменение значений предельных вертикальных напряжений в образце глинистого грунта нарушенной структуры в условиях трехосного сжатия является важной задачей для строительной отрасли.

Ключевые слова: глинистый грунт, двухступенчатое нагружение, время, упрочнение, трехосное сжатие

Для цитирования: Королева И.В. Исследование влияния фактора времени на прочность глин // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 53-60, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_53, EDN: EPCSQR

Study of the time factor influence on the strength of clays

I.V. Koroleva[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* When designing foundation base, the question arises about the mechanical characteristics of soils used in limit state calculations, especially if cyclic loading is considered as an external influence. At the same time, the “time” factor is not taken into account, that the structure is being built and operated for a long period. One of the ways to solve this issue can be to study the change in soil properties over time. The main purpose of this study is to identify the features of the change in the strength of clay soil samples under conditions of triaxial cyclic loading at different values of the exposure time in the desiccator before and

during loading. The objectives of the study are to identify graphical dependencies and patterns of changes in soil strength over time and substantiate the results obtained.
Results. Experimental studies were carried out on cylindrical samples made from soil of a disturbed structure. The main results of the studies performed are new data on the change in the strength of samples under triaxial loading depending on the loading mode, taking into account the time of "hold before testing" and "rest during testing". The analysis of the research results is carried out and some regularities of the behavior of clay soils under regime triaxial loading are established.
Conclusions. Establishing the influence of time on the change in the values of limiting vertical stresses in a sample of clay soil of a disturbed structure under conditions of triaxial compression is an important task in the construction industry.

Keywords: clay soil, two-stage loading, time, hardening, triaxial compression

For citation: Koroleva I.V. Study of the time factor influence on the strength of clays // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 53-60, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_53, EDN: EPCSQR

1. Введение

Грунты являются одним из важнейших элементов системы «основание – фундаменты – надземная часть здания», при этом это единственная составляющая с природными (не заданными человеком) свойствами [1]. Особенно остро этот вопрос встает для случаев, когда основание сложено глинистыми грунтами [2-3], даже в дорожном строительстве [4-6]. Модули деформации и прочность грунтов значительно меньше, чем у бетона и арматуры, при этом вся нагрузка через фундамент воспринимается грунтовыми основаниями [7-8], особенно этот вопрос становится главным при проектировании глубоких фундаментов [9-11] и вертикальных ограждений котлованов [12-14].

Расчетные модели грунтовых оснований существенно усложняются и требуют новых исследований прочностных и деформационных параметров грунта [15-17]. На сегодняшний день имеется ряд исследований изменения прочности грунта при режимных нагружениях [18-20]. Установлено, что прочностные параметры грунта существенно зависят от генезиса [21-22], не являются постоянными величинами и изменяются в процессе внешних воздействий [20, 23]. Свойства глинистых грунтов определяются в основном глинистой фракцией и в значительной степени зависят от микроструктуры, в том числе от количества и прочности межчастичных связей [11, 17]. Механические и физические свойства грунтов важны как исходные данные при проектировании оснований и фундаментов. Однако, поведение глинистых грунтов при режимном циклическом нагружении с учетом фактора «время» практически не изучено. В связи с выше изложенным, целью данного исследования является выявление особенностей изменения прочности образцов глинистого грунта в условиях трехосного циклического нагружения при разных значениях времени выдержки в эксикаторе до и в процессе нагружения. Задачи исследования: 1) выявление графических зависимостей и закономерностей изменения прочности грунта во времени; 2) научное обоснование полученных результатов.

2. Материалы и методы

Для изучения влияния времени выдержки без нагрузки на прочность были проведены серии испытаний образцов грунтов нарушенной структуры в приборе трехосного сжатия – стабилометре с поддержкой автоматической испытательной и вычислительной системы «АСИС». Все параметры лабораторных работ принимались по действующей нормативной методике для схемы неконсолидированно-недренированных испытаний.

Исследуемый образец изготовлен из глинистого грунта нарушенной структуры, что позволяет минимизировать количество дефектов в структуре, с заданными физико-механическими параметрами (на момент изготовления образца), приведенными в таблице 1.

Программа испытаний включала в себя три основных нагружения (рис.1).

Нагружение 1 (рис. 1а). После изготовления образец грунта цилиндрической формы устанавливался в прибор трехосного сжатия, подвергался всестороннему обжатию ($\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3$=100кПа), а затем в результате статического ступенчатого загружения разрушался по схеме «раздавливание». Это значение вертикальной нагрузки было принято за эталонную прочность.

Нагружение 2 (рис. 1б). После изготовления образец грунта цилиндрической формы устанавливался в прибор трехосного сжатия, подвергался всестороннему обжатию ($\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3$=100кПа), а затем к образцу прикладывалась вертикальная нагрузка соответствующая 65% от разрушающей величины, установленной при нагружении 1, и начинался этап циклического нагружения в течение 50 циклов. Если образец выдерживал этот этап нагружения, то он разрушался по схеме «раздавливание» в результате статического ступенчатого загружения.

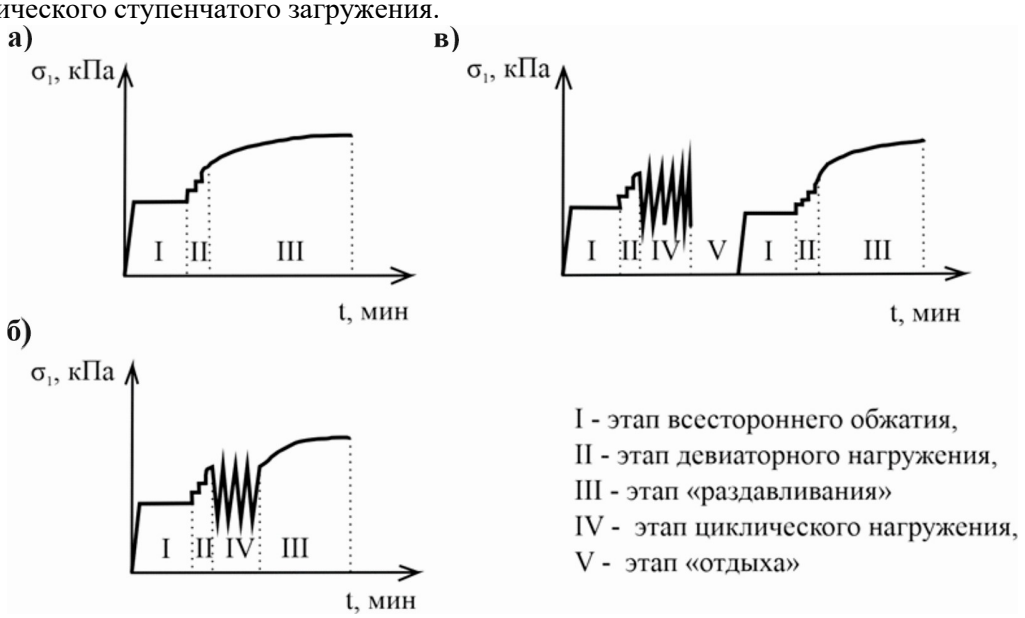


Рис. 1. Программа испытаний
а – нагружение 1, б – нагружение 2, в – нагружение 3 (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Test program
a – loading 1, b – loading 2, c – loading 3 (illustration by the authors)

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтов (до начала испытания)

Наименование показателей	Обозначение	Ед.измерения	Значение
Удельный вес	γ	кН/м^3	19,4
Удельный вес скелета	γ_s	кН/м^3	27,3
Влажность	W	%	23
Влажность на границе текучести	W_L	%	40,1
Влажность на границе раскатывания	W_P	%	22,8
Число пластичности	I_P	-	17,3
Удельное сцепление	c	кПа	67,467
Угол внутреннего трения	φ	Град.	20,60

Нагружение 3 (рис. 1в). После изготовления образец грунта цилиндрической формы устанавливался в прибор трехосного сжатия, подвергался всестороннему обжатию, а затем к образцу прикладывалась вертикальная нагрузка соответствующая значению, принятому при схеме нагружения 2, и начинался этап циклического нагружения в течение 50 циклов. Затем образец разгружался и помещался в герметичный эксикатор на «отдых» в течение одних суток. После он снова помещался в стабилометр и разрушался по схеме «раздавливание». Было выполнено две серии испытаний с различным значением величины бокового обжатия $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3=100$кПа и $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3=200$кПа с целью получения прочности образцов грунта в интегральном объеме.

Для оценки скорости восстановления структурных связей в грунте нарушенной структуры часть образцов до начала испытаний по схемам нагружения 2 и 3 помещалась в эксикатор на заданный интервал времени от 1 суток до 5 суток.

Таким образом, разработанная программа исследований позволила исследовать влияние фактора «время» на прочность образцов глинистого грунта.

3. Результаты и обсуждение

По результатам испытаний в ПК АСИС были автоматически построены графики изменения вертикальных деформаций в зависимости от величины вертикальных напряжений (рис. 2).

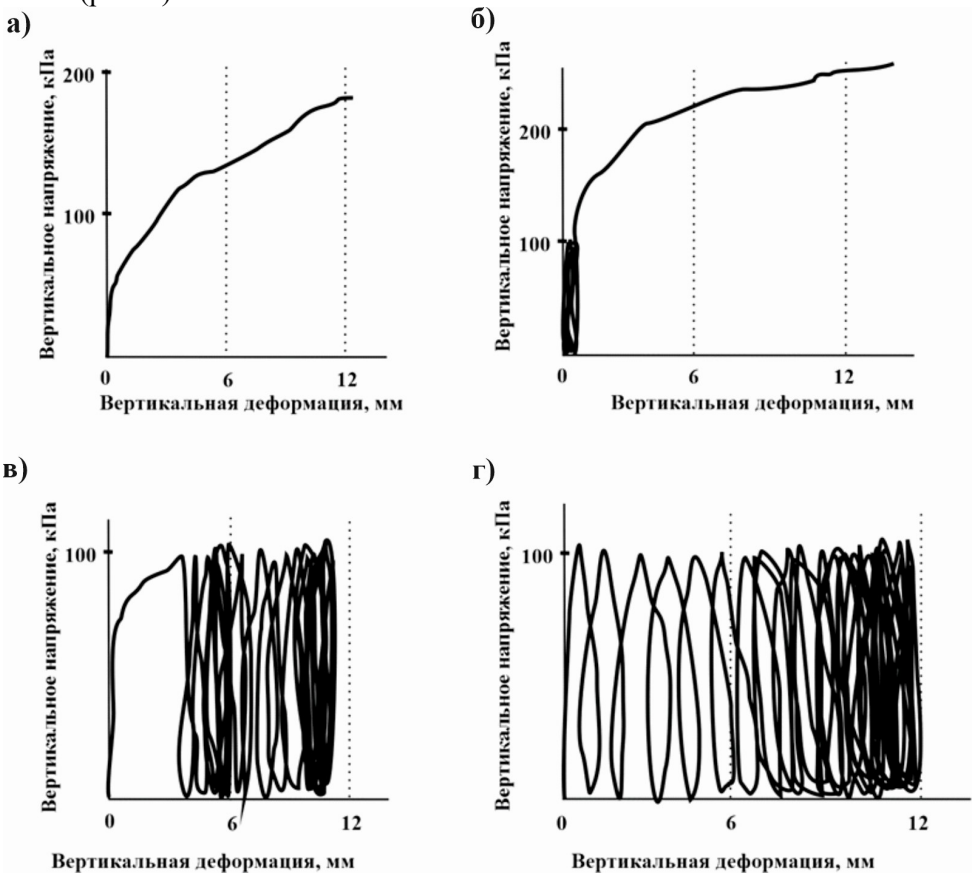


Рис. 2. Графики изменения вертикальных деформаций в процессе трехосного нагружения
а – нагружение 1, б – нагружение 2 (выдержка в эксикаторе до начала нагружения в течение 1 суток), в – этап приложения циклической нагрузки (нагружение 3, выдержка в эксикаторе до начала нагружения в течение 0 суток), г – этап приложения циклической нагрузки (нагружение 3, выдержка в эксикаторе до начала нагружения в течение 1 суток) (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Graphs of changes in vertical deformations during triaxial loading
a – loading 1, b – loading 2 (exposure in a desiccator before loading for 1 day), c – stage of applying a cyclic load (loading 3, holding in a desiccator before loading for 0 days), d – stage of application of cyclic load (loading 3, holding in a desiccator before loading for 1 day) (illustration by the authors)

График на рисунке 2а показывает развитие вертикальных деформаций при статическом девиаторном нагружении, принятом за эталонную прочность. Установлено, что до $\sigma_1=50$кПа вертикальные деформации образца практически не увеличивались, затем

деформации накапливались и привели к разрушению образца. Выдержка эксикаторе в течение 1 суток и приложение нагружения 2 (рис. 2б) привели к увеличению прочности образца почти на 50% по сравнению с «эталонным значением», при этом скорость накопления деформаций на этапе девиаторного загружения существенно снизилась.

Анализируя графики (рис. 2), можно выделить особенность развития деформаций при циклическом нагружении в образце без выдержки в эксикаторе до начала испытания (рис. 2в) при нагружении 3. В процессе деформирования образца наблюдается на первых циклах нагружения доуплотнение образца, затем шаг между петлями гистерезиса увеличивается и проявляется разуплотнение образца, но на завершающих циклах нагружения шаг между петлями уменьшается и образец снова уплотняется. В других образцах (рис. 2г), имеющих выдержку в эксикаторе в течение 1 суток и более до начала нагружения, указанная особенность не проявляется, так как за время до начала испытания происходит частичное восстановление структурных связей.

Получены графические зависимости влияния фактора «время» на прочность глинистых образцов нарушенной структуры в условиях трехосного сжатия (рис. 3).

При нагружении 2 (рис. 3а) установлено увеличение прочности образца при увеличении времени выдержки образца в эксикаторе до начала испытания, однако, следует отметить, что в течение первых суток прочность образца увеличилась на 51%, а за вторые сутки выдержки образец упрочнился на 73% от начального значения, полученного при испытании первого образца без выдержки (0 суток) по схеме нагружение 2. Дальнейшее увеличение времени выдержки существенно не повлияло на упрочнение грунта, так, за 5 суток выдержки образца в эксикаторе прочность увеличилась всего на 5% по сравнению с двухсуточной выдержкой. Следовательно, без влияния внешних факторов, максимальная скорость восстановление связей в данном грунте нарушенной структуры наблюдается в первые 48 часов после изготовления образца. Этот эффект объясняется наличием некоторого ограниченного объема «свободной» воды в образце и ее активном участии в восстановлении водно-коллоидных связей между частицами грунта, так как они являются причиной упрочнения.

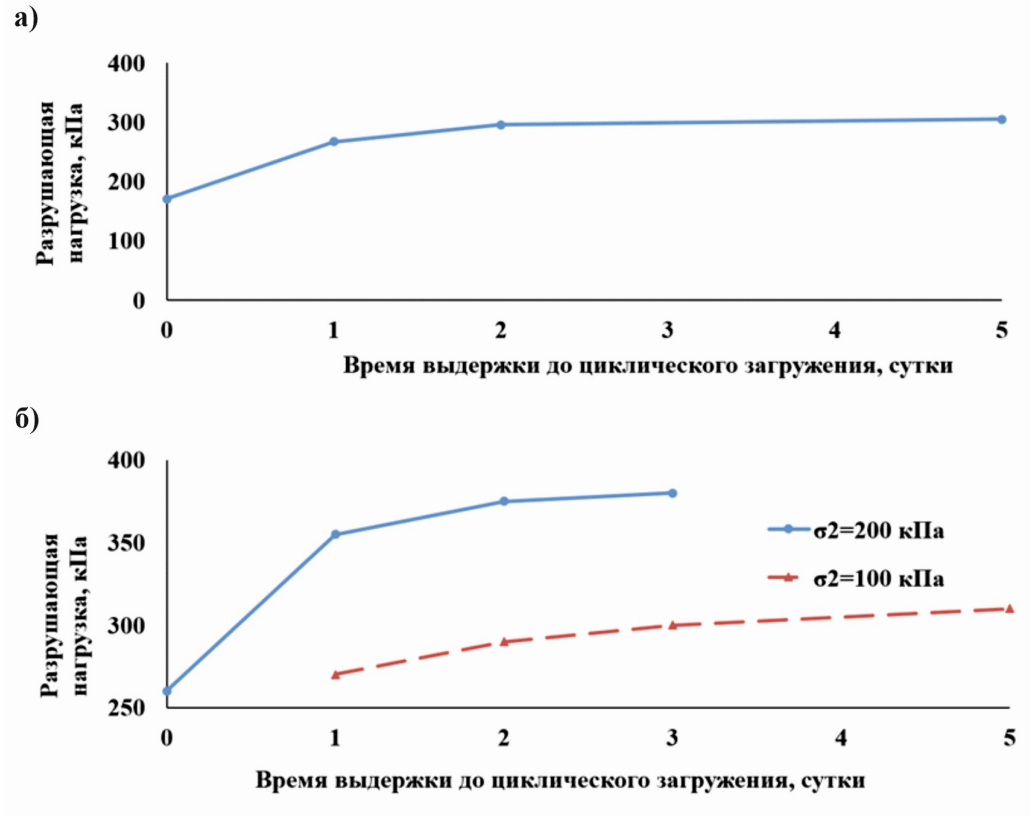


Рис. 3. Изменение прочности образца в зависимости от фактора «время»
а – нагружение 2, б – нагружение 3 (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Change in the strength of the sample depending on the factor "time"
a – loading 2, b – loading 3 (illustration by the authors)

Аналогичный характер зависимости величины упрочнения образцов нарушенной структуры от времени выдержки в эксикаторе до начала загружения (рис. 3б) был отмечен в нагружении 3 при боковом давлении 100 кПа. Однако, отдых образцов между этапами циклического и статического нагружения в течение 24 часов в этой схеме не привел к существенному увеличению прочности. Возможно, это объясняется малой влажностью грунта, так как большая часть «свободной» воды была израсходована в процессе восстановления связей после изготовления, а освободившейся из пор в процессе циклического нагружения воды оказалось недостаточно для залечивания всех дефектов и повреждений, возникших в процессе приложения циклической нагрузки.

Увеличение бокового давления до 200 кПа (рис. 3б) привело к значительному увеличению прочности грунта по сравнению с $\sigma_2=\sigma_3=100$кПа. Фактор времени также оказал влияние на процессы упрочнения. За первые сутки выдержки в эксикаторе до циклического загружения прочность образца после испытания увеличилась на 36%, за вторые – на 44% по сравнению с образцом без выдержки, однако, дальнейшее увеличение времени привело к незначительному упрочнению на 2%.

Анализ изменения прочностных параметров грунта в интегральном объеме, полученных с помощью построения кругов предельных напряжений, показал, что с увеличением времени выдержки образца нарушенной структуры в эксикаторе до начала испытаний в течение трех суток произошло увеличение удельного сцепления грунта до 10%.

Рассматривая выявленные особенности, можно заключить, что циклическое девиаторное нагружение сопровождается возникновением и развитием множества поверхностей сдвига и разрывов сплошности грунта образца, положение которых меняется в процессе увеличения количества циклов, и следовательно, отрицательная дилатансия (разрыхление) глинистого грунта при циклическом трехосном сжатии локализуется в пределах потенциально возможных площадок предельного равновесия [10, 20].

Учитывая, что независимо от степени начальной неоднородности напряженно-деформированного состояния элементарного объема грунта разрушение всегда происходит в пространстве главных напряжений, совмещая пространство главных напряжений σ_1, σ_2, σ_3 и пространство главных деформаций ε_1, ε_2, ε_3 и сохраняя принцип коаксиальности тензоров напряжений и скоростей деформаций [10, 20], примем, что закон сухого трения Кулона связывает проекции сил, действующих на площадках предельного равновесия на нормаль к площадке скольжения и на нее саму. Тогда условие течения при трехосном нагружении запишется в виде:

$$|t| = S \cdot tg\varphi(t, t_1, N, \tau) + c_0(t, t_1, N, \tau), \quad (1)$$

где $S=\sigma_1 \cdot l \cdot l` + \sigma_2 \cdot m \cdot m` + \sigma_3 \cdot n \cdot n`$;

$t=((\sigma_1 \cdot l \cdot m` - \sigma_2 \cdot m \cdot l`)^2 + (\sigma_2 \cdot m \cdot n` - \sigma_3 \cdot n \cdot m`)^2 + (\sigma_3 \cdot n \cdot l` - \sigma_1 \cdot l \cdot n`)^2)^{1/2}$;

$\varphi(t,t_1, N, \tau)$ – переменный во времени угол внутреннего трения;

$c_0(t,t_1,\tau)$ – переменное во времени удельное сцепление;

l, m, n – направляющие косинусы нормали к площадке предельного равновесия;

l`, m`, n` – направляющие косинусы нормали к площадке скольжения.

Опираясь на результаты исследований, можно заключить, что в зависимости от величины и продолжительности действия нагрузки в многофазном глинистом грунте происходят два взаимно компенсирующих явления – упрочнение, обусловленное залечиванием дефектов и более плотной перекомпоновкой частиц, и разупрочнение, вызванное переориентацией частиц, а также образованием и развитием микро и макротрещин. Этап отдыха способствует «залечиванию» имеющихся дефектов и повреждений при достаточном количестве свободной воды в образце. В случае недостатка влаги, накопленные дефекты объединяются в плоскость сдвига и происходит разрушение образца [17, 20].

4. Заключение

1. Механические и физические свойства грунтов важны как параметры при проектировании грунтов и фундаментов, при этом они не являются постоянной величиной и изменяются в процессе нагружения.

2. Проведены экспериментальные исследования изменений прочностных параметров глинистого грунта при циклическом трехосном сжатии с фактора «время». Установлено, что процессы упрочнения грунта нарушенной структуры зависят от времени выдержки образцов после изготовления до начала нагружения, а также от времени «отдыха» между блоками нагружения и величины всестороннего обжатия. Упрочнение грунта проявляется в увеличении разрушающей нагрузки и в увеличении удельного сцепления грунта в интегральном объеме образца на 10%.

3. Влажность грунта и объем глинистых частиц в образце также влияют на скорость упрочнения.

Список литературы / References

1. Mohamad N.O., Razali C.E., Hadi A.A.A., Som P.P. Challenges in Construction over Soft Soil - Case Studies in Malaysia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. № 1 (136).
2. Ural N. The Importance of Clay in Geotechnical Engineering // InTech, 2018. P. 83–102.
3. Guan-lin, Y., Bin, Y. Investigation of the overconsolidation and structural behavior of Shanghai clays by element testing and constitutive modeling // Shanghai, China, Tongji University. 2016. 1(1). P. 62–77. DOI: 10.1016/j.undsp.2016.08.001.
4. Sadono K.W. at.all. Analisis Geologi Teknik Pada Kegagalan Bendung Cipamingkis, Bogor, Provinsi Jawa Barat // Seminar Nasional Kebumian. 2017. № September (10). P. 190–201.
5. Sobhan, K. Challenges due to problematic soils: a case study at the crossroads of geotechnology and sustainable pavement solutions. Innov. Infrastruct. Solut. 2017. 2 , 40. https://doi.org/10.1007/s41062-017-0070-y.
6. Uge B. U. Performance, Problems and Remedial Measures for Roads Constructed on Expansive Soil in Ethiopia – A Review // Civil and Environmental Research. 2017. № 5 (9). P. 28–37.
7. Zhi Yong Ai, Ye Cheng Dai, Yi Chong Cheng. Time-dependent analysis of axially loaded piles in transversely isotropic saturatedviscoelasticsoils // Engineering Analysis with Boundary Elements. 2019. 101. P. 173–187. DOI: 10.1016/j.enganabound.2019.01.004.
8. Mirsayapov I.T., Aysin N.N. Influence of a deep construction pit on a technical condition of surrounding buildings // Proceedings of the Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations In: Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations, 6–8 February. – St.-Petersburg, Russia, 2019. P. 197–201.
9. Song D., Chen Z., Dong L. Monitoring analysis of influence of extra-large complex deep foundation pit on adjacent environment: a case study of Zhengzhou City, China // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2020. Vol. 11, no. 1. P. 2036—2057.
10. Mirsayapov, I.T., Koroleva, I.V. Prediction of deformations of foundation beds with a consideration of long-term nonlinear soil deformation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2011. Vol. 48. P. 148–157. https://doi.org/10.1007/s11204-011-9142-8.
11. Yang, H.Z., Wang, L.A. & Zhao, J.C. Analysis of the Effects of Rheology on the Band Structures of Periodic Pile Barriers in Cohesive Soils // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2023. Vol. 60. P. 7–14. https://doi.org/10.1007/s11204-023-09857-4.
12. Mirsayapov I., Khasanov R., Safin D. Ensuring the stability of the deep pit enclosure an d foundation bases in the conditions of reconstruction of the architectural monument in the city of Kazan. E3S Web of Conferences. 2021, vol. 274, no. 5, article 03022. DOI: 10.1051/e3sconf/202127403022.

13. Деменков П. А., Комолов В. В. Исследование влияния строительства глубоких котлованов на оседания массива в плоской и пространственной постановке // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 6. С. 97–110. DOI:10.25018/0236_1493_2023_6_0_97 [Demenkov P. A., Komolov V. V. Investigation of the influence of the construction of deep pits on the subsidence of the massif in a flat and spatial formulation // Mining information and analytical bulletin. 2023. № 6. P. 97–110. DOI:10.25018/0236_1493_2023_6_0_97].
14. Ding Z., Jin J., Han T.-C. Analysis of the zoning excavation monitoring data of a narrow and deep foundation pit in a soft soil area // Journal of Geophysics and Engineering. 2018. Vol. 15, no. 4. P. 1231–1241.
15. Fengxi Zhou, Yanping Shao, Musa Abdallah Ibrahim Ahmed. An Elastoplastic Constitutive Model for Unsaturated Soils Using the Suction Stress Variable // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2022. Vol.59. P. 23–31.
16. Subramaniam P, Banerjee S. Factors affecting shear modulus degradation of cement treated clay // Soil Dyn Earthq Eng. 2014. Vol. 65. P. 181–188.
17. Zaretskii, Yu. K. 2002. Two Failure Mechanism and a Unified strength Condition for Geomaterials // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2002. Vol. 39(6). P. 193–201.
18. Mirsayapov, I., Sharaf, H.M.A. Studies of Clay Soils Under Triaxial Block Cyclic Loading // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. 574 LNNS. P. 2378–2386.
19. Mirsayapov, I., Aysin, N. Clay Soil Deformations Under Regime Long-Term Triaxial Compression Taking into Account Initial Defects // Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. V. 291. P. 99–108.
20. Mirsayapov, I.T., Koroleva, I.V. Strength and Deformability of Clay Soil Under Different Triaxial Load Regimes that Consider Crack Formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Vol. 53. P. 5–11. https://doi.org/10.1007/s11204-016-9356-x.
21. Vucetic M, Dobry R. Effect of soil plasticity on cyclic response // J Geotech Eng. 1991. Vol. 117(1). P. 89–107.
22. Lunev A.A., Katsarskii R.S. Influence of Water Content and Degree of Compaction on the Mechanical Properties of Soils of Various Geneses // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2022. Vol.59. P. 417–421.
23. Mirsayapov, I.T., Koroleva, I.V.Water Migration Influence on Changes of Physical and Mechanical Characteristics a Clay Soil Under Triaxial Loading // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 125. P. 244–250.

Информация об авторах

Ирина Владимировна Королева, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
Email: ofdsiig.koroleva@bk.ru

Information about the authors

Irina V. Koroleva, Candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: ofdsiig.koroleva@bk.ru

УДК: 624.157
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_61
EDN: EREYGS

Анализ опыта проектирования и строительства подземных сооружений с применением «стены в грунте»

Д.М. Нуриева[1], **И.В.Агафонов**[2]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
[2]АО "НЕФТЕХИМПРОЕКТ", г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи*. В современном строительстве использование подземного пространства становится неотъемлемой частью проектов в густонаселенных городах. Цель исследования: определить перспективы развития и направления совершенствования проектирования и строительства подземных сооружений в условиях городской застройки. Задачами исследования являются: анализ работ отечественных и зарубежных авторов, направленных на изучение подземных сооружений с применением «стены в грунте».

Результаты. В ходе обзора исследований было выявлено, что наиболее востребованным способом выполнения ограждения котлована в условиях плотной городской застройки является «стена в грунте». Определены основные направления исследований: анализ поведения ограждающих конструкций котлована, возможность цифровизации и автоматизации выбора проектных решений подземной части зданий, расчет и мониторинг подземных несущих конструкций здания, выбор ограждения и удерживающей системы котлована.

Выводы. Благодаря проделанному исследованию были установлены современные тенденции в развитии проектирования и строительства подземных сооружений с применением «стены в грунте» и выявлена актуальная проблематика, что определяет направления для формирования дальнейших исследований.

Ключевые слова: стена в грунте, геотехническое моделирование, плотная застройка, глубокий котлован, численное моделирование

Для цитирования: Нуриева Д.М., Агафонов И.В. Анализ опыта проектирования и строительства подземных сооружений с применением «стены в грунте» // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 61-72, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_61, EDN: EREYGS

Analysis of experience in design and construction of underground structures using "diaphragm wall"

D.M. Nurieva[1], **I.V. Agafonov**[2]
[1] Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
[2]JS «NEFTEKHIMPROEKT», Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. In modern construction, the use of underground space becomes an integral part of projects in densely populated cities. The aim of the study is to determine the prospects of development and trends for improving the design and construction of underground structures in the conditions of urban development. The objectives of the study are to analyze the works of Russian and foreign authors aimed at studying underground structures with the use of "diaphragm wall".

Results. In the course of research review it was revealed that the most popular way of

excavation enclosure execution in conditions of dense urban development is "diaphragm wall". The main trends of research were defined: analysis of the behavior of excavation enclosure structures, possibility of digitalization and automation of selection of design solutions for underground part of buildings, calculation and monitoring of underground load-bearing structures of the building, selection of excavation enclosure and retention system.

Conclusions. Due to the done research, the modern tendencies in development of design and construction of underground structures with application of "diaphragm wall" have been established and topical problems have been revealed, which determines directions for formation of further researches.

Keywords: diaphragm wall, geotechnical modeling, dense development, deep excavation, numerical modeling

For citation: Nurieva D.M., Agafonov I.V. Analysis of experience in design and construction of underground structures using "diaphragm wall"// News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 61-72, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_61, EDN: EREYGS

1. Введение

На сегодняшний день подземное строительство является неотъемлемой частью развития современных крупных городов [1-4]. С повышением жизненного уровня население в мегаполисах увеличивается. Это приводит к увеличению плотности городской застройки и дефициту территорий для организации парковочных мест автомобилей. Одним из путей решения этой проблемы является устройство паркингов в подземной части возводимых зданий. Объемно-планировочное и конструктивное решение таких зданий предполагает наличие 2-х, 3-х, а иногда и более подземных этажей, и необходимость устройства в период их строительства глубоких котлованов. Задача часто усложняется еще и тем, что производство работ ведется в стесненных условиях, ограниченных размерами строительной площадки [5]. Для минимизации влияния нового строительства на примыкающие существующие здания и инфраструктуру применяется открытый или полузакрытый способ устройства котлована с выполнением ограждающей конструкции, устойчивость которой обеспечивается различными конструктивными типами удерживающих систем.[6- 8]. Как показал анализ работ [9-11], чаще всего в качестве ограждающей конструкции выступает «стена в грунте», а для обеспечения ее устойчивости применяются грунтовые анкеры или распорные системы из металлических распорок, подкосов и стоек [5,12-14]. «Стена в грунте» это искусственно выполненная конструкция из бетона или железобетона в грунте. Она способна выдерживать значительное по величине боковое давление, быть противофильтрационной завесой и воспринимать гидростатическое давление подземных вод, минимизировать влияние котлована на окружающую застройку, а при необходимости может быть использована в качестве конструктивного элемента несущей системы подземной части здания [15,16].

Несмотря на имеющийся опыт строительства таких сооружений, при их проектировании часто возникают вопросы, не имеющие четких ответов и рекомендаций в действующих строительных нормативных документах.

Так, согласно нормативным документам для обеспечения безопасности строящихся и существующих зданий и сооружений, снижения риска возникновения аварийных ситуаций, связанных с обрушением, обвалом и осыпанием грунта крайне важно произвести выбор ограждающих и удерживающих систем котлована с учетом:

- совместной работы системы "основание - фундамент - сооружение" с учетом последовательности разгрузки и нагружения основания;
- последовательности экскавации и обратной засыпки грунта, монтажа и последующего демонтажа конструкций крепления (при их наличии);
- последовательности возведения основного сооружения, если подпорное сооружение выполняется для его строительства или входит в его состав;
- особенности поведения грунта и конструкций вплоть до достижения

рассматриваемого предельного состояния;
- влияния подпорного сооружения и объектов внешней среды друг на друга;
- технологии возведения подземной части здания;
- инженерно-геологических условий площадки.

Несмотря на всеобъемлющие условия, которые должен выполнить проектировщик, приступая к расчётам подземной части зданий и выборе конструктивных решений, в действующих строительных нормах отсутствуют конкретные методики и рекомендации по конструированию, учитывающие все вышеуказанные требования, а также имеющие приемлемую сходимость с показаниями мониторинга конструкций[1].

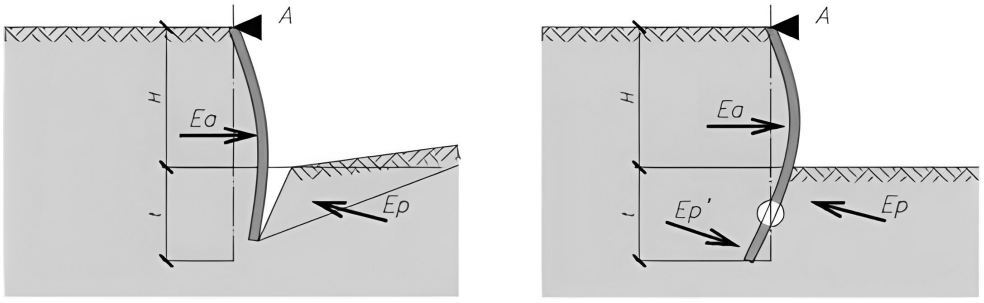
В связи с вышеизложенным весьма актуальным становится изучение имеющихся подходов, перспектив развития и направления совершенствования расчетов, проектирования и строительства подземных сооружений в условиях плотной городской застройки.

В данной работе задачами исследования являются:
1) выполнить обзор и анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования и строительства подземных сооружений в условиях плотной городской застройки на основе опубликованных результатов исследований отечественных и зарубежных авторов преимущественно за последние 5 лет;
2) выявить наиболее востребованный тип ограждения котлована;
3) обозначить основные направления исследований;
4) установить актуальные проблемы, на основании которых вывить направления для формирования дальнейших исследований.

2. Материалы и методы

Для анализа исследований отечественных и зарубежных авторов, были отобраны те работы, в которых изучалось поведение ограждающих конструкций котлована, эффективность возведения подземной части зданий, возможность цифровизации и автоматизации выбора проектных решений, расчет и мониторинг несущих конструкций подземной части здания, выбор удерживающей системы котлована, наиболее применяемых методы расчета ограждающих конструкций котлованов.

На текущий момент применяется два типа расчета подземных сооружений. Первый тип основан на ручных графоаналитических методах, которые хорошо зарекомендовали себя как достаточно простые и не требующие сложных вычислений. Графоаналитический метод упругой (гибкой) линии (методы Якоби и Блюма-Ломейера)[12]. Принцип - определяются эпюры активного и пассивного давлений грунта, строятся веревочные и силовые многоугольники, а также эпюра изгибающего момента в сечении ограждения (рис. 1). По результатам вычислений определяется требуемая глубина заделки ограждения ниже дна котлована из условия устойчивости грунта и подбирается сечение ограждающей конструкции. Однако при своей простоте данные методы не учитывают множество важных факторов: учет этапной разработки котлована, устройства анкеров или распорных систем; их податливость и перераспределение давления в грунтовом массиве, последовательность возведения конструкций.



Расчетная схема по методу Якоби Расчетная схема по Блюма-Ломейера

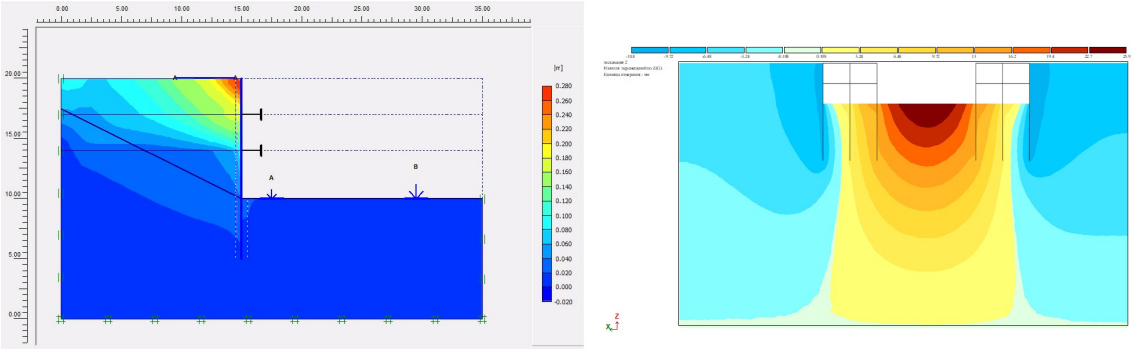
Рис 1. Подходы графоаналитический метода расчета ограждения котлована
Fig. 1. Approaches of the graph-analytical method for calculating the fence of the excavation (http://geotechfem.com/raschety-ograzhdeniya-kotlovana.html)

Второй тип основывается на численных расчетах, реализованных в современных программных комплексах, которые отличаются гибкостью построения расчетной модели и учитывают поведение грунта как среды, позволяют получить не только перемещения и напряженное состояние ограждающей конструкции, но и оценить влияние устройства котлована на прилегающую застройку, вычислить дополнительные осадки поверхности и фундаментов существующих зданий и сооружений.

В компьютерной программе ПК «ЛИРА-САПР» реализуется метод конечных элементов (МКЭ) и есть возможность проводить расчет основания по различным моделям, в основе которых лежит трехмерная модель грунта, построенная на основе данных инженерно-геологических исследований. Моделирование работы грунта осуществляется либо путем применения коэффициентов жесткости упругого основания С1 и С2, либо путем применения объемных конечных элементов КЭ № 34, 36, позволяющих описывать линейное деформмирование грунтов, либо специальных КЭ № 271, 272, 273, учитывающих нелинейное поведение грунтов. В ПК SCAD office реализованы следующие виды моделей грунтового основания: модель Винклера; линейно-деформируемого основания; билинейная модель; модель упрочняющегося грунта.

Метод конечных элементов также лежит в основе программного комплекса PLAXIS, позволяющего реализовать численное моделировнаие ограждений котолованов на двух уровнях. В ПК «Plaxis 2D» заложен расчет по деформированной схеме, в ПК «Plaxis 3D» - модель упрочняющегося грунта. («Hardering Soil») [3]. Программные комплексы дают возможность осуществлять моделирование деформационных процессов для зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства [17], рассчитывать дополнительные осадки здания на момент окончания строительства и, тем самым, обеспечивать геомеханическую безопасность и эффективно использовать подземное пространство (рис. 2).

Принимая во внимание широкий спектр задач, с которыми могут справиться современные программные комплексы, нельзя не отметить тот факт, что они не определяют геометрические, механические и прочие параметры ограждающих конструкций котлованов. Для этого необходимо выполнять дополнительные трудоемкие расчеты для назначения предварительных размеров конструкций. На данный момент не существует промежуточной методики расчета и подхода, который бы позволял быстро подобрать конструктивные элементы подземных сооружений, при этом чтобы эти результаты хорошо согласовались с показаниями мониторинга и экспериментальными данными.



а б

Рис. 2. Иллюстрация работы различных программных комплексов
Fig. 2. Illustration of the operation of various software systems:
а -ПК «Plaxis» б- ПК «Лира-САПР»
a- "Plaxis" PC б -"Lira-SAPR" PC
(https://www.kadastr.org/conf/2018/pub/monitprir/beregoukreplenie-poberej-ya-azovskogo-morya-na-pri.htm)

3. Результаты и обсуждение

Рассмотрим подробнее работы отечественных и зарубежных авторов. Основной упор будет сделан на публикации последних пяти лет. Предметность исследований в

этой области достаточно широка, и научные работы направлены на различные аспекты, включая цифровизацию и автоматизацию выбора типа ограждающих конструкций, расчет ограждающей конструкции[18] и выбор типа удерживающей системы котлована, зависимость от температурных воздействий, а также сопоставление расчетной модели с результатами мониторинга.

В работах Разумновой Е.А,[19] И.С. Довольнова [15] проведен анализ современных организационно-технологических решений, используемых при строительстве подземных частей объектов высотного строительства. Авторы пришли к выводу, что наиболее эффективным способом является возведение подземной части полу-закрытым способом, с оговоркой на то, что выводы требуют детальных исследований и проработки.

Относительно возможности цифровизации и автоматизации выбора проектных решений О. В. Ашихмин, А. П. Шестакова, Д.А. Федоров в научных статьях «Цифровизация процессов принятия технологических и проектных решений в современном строительстве»,[9] «Результаты численного эксперимента по созданию алгоритма принятия проектных решений в строительной практике»[11] показали работу алгоритма принятия проектных решений для ограждающих конструкций бровки котлована при строительстве объекта «ЖК "Вознесенский"». Принципы и алгоритмы принятия проектных решений, используемые в данном исследовании, могут быть применены на всех этапах строительства и управления проектами. Цифровой эксперимент показал, что для получения быстрого и достоверного варианта решения достаточно иметь исходную базу данных и апробированное программное средство составления дерева решений. В данном исследовании в качестве такого программного средства было использовано Deductor Studio Academic.

В своих работах [2020,21] Жеглова Ю.Г. сформулирована задача выбора технических решений для ограждающих конструкций на основе функциональных требований и множества данных; предложена новая математическая модель, методика выбора и функциональное описание системы поддержки принятия решений на основе системного анализа и теории активных систем, обеспечивающие комплексную оценку и экономическую эффективность технических решений.

Использование современных технологий, а именно облака точек и информационной модели здания рассматривает [22] С.Б. Могучев при проведении строительного контроля. Предложенный автором метод строительного контроля повышает точность и скорость регистрации отклонений, позволяет проводить контроль каждого элемента в камеральных условиях и интегрировать журнал работ в информационную модель объекта. Использование информационной модели позволяет оптимизировать процессы, уменьшить непредвиденные 3расходы и повысить эффективность проектирования, а облачные точки улучшают контроль качества строительных работ и объединяют данные со стройки и проектной модели.

Рассмотрением вопроса влияния изменения напряженно-деформированного состояния грунта при устройстве «стены в грунте» на расчет ограждающих и распорных конструкций котлована занимались Шулятьев О.А., Минаков Д.К. в своей работе [23] и пришли к следующим выводам:

– Учет изменения напряженно-деформированного состояния грунта при устройстве «стен в грунте» оказывает существенное влияние на расчет ограждающих и распорных конструкций котлована.

– Предложенный метод моделирования этапов бетонирования в два этапа учитывает уменьшение давления свежего бетона на стенки траншеи со временем и позволяет более точно оценивать деформации и усилия в конструкциях котлована.

– Недооценка деформаций и усилий при расчете конструкций котлована без учета изменения напряженно-деформированного состояния грунта будет особенно сильной при большой критической глубине и низком уровне грунтовых вод.

О геотехническом мониториге, как необходимой составляющей строительства в своей работе утверждают И.А. Салмин,[18] О.А. Шулятьев, В. И. Травуш, С.О. Шулятьев [24] и сопоставляют результаты мониторинга с расчетами ограждения котлована на примере технических сооружений в г. Пермь, Лахта Центра в г. Санкт-Петербург. Авторы, приводя расчеты в различных программах, таких как: Plaxis, GeoWall, Alterra,

ANSYS 13, приходят к выводу о том, что мониторинг является полезным инструментом для проектирования ограждений котлованов. Он позволяет получать сигналы о состоянии ограждения на протяжении всего процесса строительства и после его завершения, что помогает инженеру-проектировщику оценить эффективность выбранного решения и принимать более рациональные проектные решения в будущем.

Вопросами учета поэтапного строительства котлована задавались Трушко О.В., Кутявин Д.В. В своем исследовании [5] они провели геотехническую оценку ситуации на участке строительства в Приморском районе г. Санкт-Петербург вблизи станции метро Пионерская с помощью программного комплекса «Plaxis 3D» по модели упрочняющегося грунта («Hardering Soil»), которая позволила произвести расчёт по методике поэтапного строительства. Численный анализ позволил более точно спрогнозировать развитие осадок за счет усовершенствованных моделей грунта с учётом его нелинейной работы при действии нагрузки. Расчёт осадки здания проводился в программно-вычислительном комплексе «Лира-САПР» «Грунт», который позволил установить, что несущие конструкции проектируемого здания удовлетворяют нормативным требованиям прочности и деформативности. В результате проделанной работы был определён наиболее подходящий тип ограждения котлована для условий строительной площадки с сильно деформируемыми грунтами, рассчитаны и численно определены размеры несущих конструкций котлована.

Знаменский В.В., Ганболд А.В в своей статье [10] приводят результаты исследования влияния ограждающей конструкции котлована, выполненной по технологии железобетонной «стены в грунте» траншейного типа, на деформации грунтового массива в основании плитного фундамента высотного здания и его осадку. Исследование выполнено численным методом с использованием программного комплекса PLAXIS 2D.

Сравнение анкерного и распорного методов крепления ограждающих конструкций котлована при строительстве многофункционального комплекса с многоуровневой подземной автостоянкой по адресу: г. Москва, ул. Большая Черемушкинская, д.25. провели С.А. Синенко, А.Р. Халитова. В результате проведенной работы [14] авторы пришли к выводу о том, что наиболее экономичным видом крепления ограждающих конструкций котлована является анкерная система крепления.

Методика выбора технологии устройства крепления ограждающих конструкций котлована с применением грунтовых инъекционных анкеров рассматривают на примере крепления ограждающей конструкции котлована при строительстве многофункционального жилого комплекса в г. Москва. А.Р. Халитова, С.А. Синенко. Авторы разработали методику выбора технологии устройства крепления ограждающих конструкций котлована, [13] используя грунтовые инъекционные анкеры. Она включает определение выбора проходки скважин, расчет необходимых ресурсов для производства работ и показателей калькуляции труда. Также авторы определили факторы, влияющие на выбор технологии грунтовых анкеров при строительстве такие, как наличие близлежащей застройки и инженерных коммуникаций, геологических и гидрогеологических условий, а также конструкции грунтового анкера.

При рассмотрении факторов, влияющих на технологические осадки при возведении «стены в грунте» О.А. Шулятьев, Д.К. Минаков приводят в своей работе [25] следующее: факторы, такие как инженерно-геологические условия, расстояние между траншеей и фундаментом, длина захватки «стены в грунте», нагрузка на подошве фундамента и плотность бентонитового раствора, влияют на технологические осадки. Изменение любого из этих параметров может привести к значительному изменению технологической осадки (от 2,5 до 7 раз). Учет данных факторов необходим для прогнозирования технологической осадки.

Поведение конструкций котлована в зимних условиях в своих работах рассматривали А.В. Бояринцев, М.Б Заводчикова, И.Н. Зуев, А.В. Журко, И.С. Камаев. В работе [1] авторы выполнили моделирование, расчеты и наблюдение за ограждениями котлована в г. Санкт-Петербурге. Мониторинг за конструкциями ограждения котлована и зданий окружающей застройки в течение зимнего сезона 2020–2021 гг. показал, что при понижении температуры до минус 28 °С ограждения смещаются внутрь котлована до 8

мм, а здания получают дополнительную осадку до 5 мм. Лабораторные испытания показали, что грунтовый массив окружающего котлована не может вызвать подобных деформаций. Исходя из этих наблюдений и моделирования, рекомендуется проводить работы по изготовлению распорных систем в межсезонные периоды года, поддерживать температуру воздуха внутри котлована выше нуля в холодный период года и планировать работы по откопке котлована таким образом, чтобы избежать деформаций конструкций.

Вопросам выбора способа возведения подземной части здания, удерживающей системы ограждающей конструкции котлована уделяется повышенное внимание в настоящее время, поскольку от этого зависит эффективность производства работ, безопасность выполнения работ на строительной площадке и сохранность окружающей застройки. Так, в исследовании [7] на примере котлована городе Ахваз, Иран производится вариантное проектирование и выбор подходящей удерживавшей системы для ограждающей конструкции, выполненной из свай. Авторы также проводят сравнение полученных результатов с опытом строительства на других объектов в этой же местности. Итогом работы является расчет и выбор удерживающей системы в виде металлических распорок. В работе [26] сравнивается влияние трех методов строительства, а именно, открытый способом, top-down и semi-top-down, на боковое смещение стен и зону осадки грунта на примере строительства станции метро в центре Шанхая. Строительство осложнялось сильнодеформируемыми грунтами, а также окружающей застройкой и действующей станции метро вблизи. В расчетах используется PLAXIS 3D. Авторы утверждают о хорошей сходимости результатов расчета с мониторингом. Рекомендуют метод semi-top-down для котлованов в городских условиях, где нарушение устойчивости несущих систем может иметь катастрофические последствия. В статье [27] исследуется автоматизированное проектирование глубоких котлованов в условиях городской застройки с учетом риска с использованием анализа надежности случайных множеств и методов конечных элементов. Рассматриваются три конкретных случая, в которых сравниваются различные подходы к проектированию, включая стоимость жизненного цикла, приемлемый риск и традиционные методы.

В научной литературе иностранных журналов обнаружено значительное количество работ, посвященных моделированию котлована и последующему сравнению полученных результатов с данными мониторинга. Очевидно, это связано с все более острой необходимостью освоения подземного пространства. Так исследователи [8] проводили оценку своей методики определения осадок в условиях переуплотненной глины с акцентом на зависящие от времени смещения в подпорных стенах. Непосредственное сравнение расчетных данных с фактическими проводят в исследовании, [28, 29] изучая поведение глубокого котлована вблизи существующего моста в карстовой зоне. В работе [30] выполняется сравнение результатов численного моделирования и мониторинга подземной части здания культурного центра Сиваса в Турции. Расчет производится в программах Plaxis 2D и GGU-Retain. На исследуемой территории и в ее окрестностях встречаются коричневые и светло-серые глины. Основание моделируется однослойным, удельный вес 19 кН/м3, модуль упругости 50 Мпа. Исследование показывает, что Plaxis 2D, используя теорию упрочнения грунта, может быть использован с высокой точностью для моделирования работы ФГЗ в твердом глинистом грунте. Рекомендуются дальнейшие исследования для подтверждения полученных результатов с помощью фактических данных грунта и рассмотрения поведения котлована при увеличении его глубины. Аналогичное сравнение [31] проводилось в городе Хайкоу в провинции Хайнань. Котлован предназначен для Башни Хайкоу высотой 428,3 м. Ограждение котлована выполнено из «стены в грунте» толщиной 1 м из свай. Удерживающей система – анкерная. Расчет выполнен в программе Plaxis. Результаты моделирования в целом хорошо согласуются с данными полевого мониторинга.

Для улучшения сходимости результатов расчетной модели с фактической работой несущих конструкций, в статье [32] рассматривается разработка подробных трехмерных конечно-элементных моделей для проектирования глубоких котлованов. Рассматриваются допущения моделирования, связанные с подпорными стенками, свайными фундаментами, эксплуатационной жесткостью конструктивных элементов и

тепловыми эффектами. Параметрические исследования показывают важность использования сплошных элементов для моделирования подпорных стен, балочных элементов для моделирования свай, тщательного выбора эксплуатационной жесткости и учета теплового воздействия на прогибы стен и перемещение грунта. Полученные результаты служат руководством для практического проектирования в проектах глубокого котлована.

В исследовании [6] используется технология распределенного волоконно-оптического мониторинга с использованием оптического частотного анализа Бриллюэна (BOFDA) для мониторинга бокового смещения сверхглубокого котлована. Сравнение данных волоконно-оптического мониторинга с данными ручного мониторинга дает представление о деформациях ограждающей конструкции. Результаты демонстрируют преимущества волоконно-оптического мониторинга в полевом наблюдении за поведением конструкций глубокого котлована.

4. Заключение

На основании проведенного обзора исследований можно сделать следующие выводы:

1. Технология «стена в грунте» является одним из наиболее востребованных методов устройств ограждения котлована на период возведения подземной части здания, а также в качестве несущего конструктивного элемента.

2. С помощью этой технологии решаются сложные задачи строительства при возведении подземных сооружений, подпорных стен, противофильтрационных завес, фундаментов глубокого заложения. Она также может выступать как самостоятельная ограждающая конструкция котлована, так и несущим элементом здания.

3. В настоящее время при расчетах ограждающих конструкций котлованов применяются классические графоаналитические решения, полуаналитические программы и программные комплексы, использующие метод конечных элементов. Наиболее используемым, а также обладающий хорошей сходимостью результатов является ПК Plaxis 3D. Он обладает обширным количеством параметров для моделирования грунтовых условий модель линейно деформируемого полупространства, модель упругопластической среды. Помимо представленных моделей грунта в Plaxis 3D имеется упругопластическая модель с изотропным упрочнением Hardening Soil Model, которая способна ещё более точно отображать реальное поведение грунта. Однако отсутствуют простая и точная методика расчета и подход, результаты которых имели хорошую сходимость с экспериментальными данными и показаниями мониторинга реальных конструкций.

4. Особое внимание отечественных и зарубежных исследователей направлено на комплексный расчет системы здание-основание в программах, проведение мониторинга на этапе строительства и эксплуатации объекта, сравнение фактических значений НДС несущих элементов с проектируемыми, корректировка модели для моделирования реальной работы конструкций.

5. Основные сложности в проектировании наблюдаются при расчете ограждающей конструкции котлована, ее удерживающих систем:

- учет различных технологических особенностей возведения подземной части здания при построении расчетной модели;
- развитие методик расчета совместной работы здания и основания с учетом поэтапного возведения;
- сопоставление данных мониторинга с проектными с последующей доработкой расчетной модели

6. Благодаря проделанному исследованию были установлены современные тенденции в развитии проектирования и строительства подземных сооружений с применением «стены в грунте» и выявлена актуальная проблематика, что определяет направления для формирования дальнейших исследований.

Список литературы/References

1. Бояринцев А.В., Заводчикова М.Б., Зуев И.Н., Журко А.В., Камаев И.С. Поведение конструкций раскрепления котлована в зимних условиях // Construction and Geotechnics. – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 37–53. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.4.03 [Boyarintsev, A.V.; Zavodchikova, M.B.; Zuev, I.N.; Zhurko, A.V.; Kamaev, I.S. Behavior of excavation formwork removing structures in winter conditions // Construction and Geotechnics. - 2021. - T. 12, № 4. - P. 37-53. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.4.03].
2. Вилкова М.В, Латыпов Р. Р., Фабричная К. А. Проблемы строительства при уплотнении застройки исторического центра города на примере объекта культурного наследия: усадьба Киселева, расположенного по ул. Муштари 20, г. Казань // Строительство и застройка: жизненный цикл - 2022 : Материалы VI Международной (XII Всероссийской) конференции, Чебоксары, 23–24 ноября 2022 года. – Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский дом «Среда», 2022. – С. 305-315. – EDN UBSBXN. [Vilkova M.V., Latypov R. R., Fabrichnaya K. A. Problems of construction at densification of the historical city center development on the example of the cultural heritage site: Kiselev's estate, located at 20 Mushtari Street, Kazan // Construction and development: life cycle - 2022 : Proceedings of the VI International (XII All-Russian) Conference, Cheboksary, November 23-24, 2022. - Cheboksary: Limited Liability Company "Publishing House "Sreda", 2022. - P. 305-315. - EDN UBSBXN.]
3. Геомеханическое обеспечение строительства многофункционального центра в условиях мегаполиса / Д. Л. Негурица, Г. В. Алексеев, Е. А. Медведев, А. А. Терешин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 3. – С. 286-296. – DOI 10.46689/2218-5194-2021-3-1-280-290. [Geomechanical support for the construction of a multifunctional center in metropolis conditions / D. L. Neguritsa, G. V. Alekseev, E. A. Medvedev, A. A. Tereshin // Izvestiya Tula State University. Earth Sciences. - 2021. - № 3. - P. 286-296. - DOI 10.46689/2218-5194-2021-3-1-280-290.]
4. Чередниченко Т. Ф., Чеснокова О. Г., Сулейманов Д. Р., Журбенко М. Д. Способы устройства подземных систем зданий в условиях существующей городской застройки: проблемы организации строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 154—162. [T. F. Cherednichenko, O. Chesnokova. G. G., Suleymanov D. R., Zhurbenko M. D. Methods of underground building systems in the existing urban development: problems of construction organization // Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2023. Iss. 1(90). P. 154-162.]
5. Трушко, О. В. Устройство котлована в условиях сильно деформируемых грунтов при строительстве многоэтажного бизнес-центра с учётом обеспечения устойчивости близстоящих зданий и сооружений / О. В. Трушко, Д. В. Кутявин // Вестник евразийской науки. – 2018. – Т. 10, № 1. – С. 48. [Trushko, O. V. Excavation in highly deformable soils during the construction of a multi-storey business center taking into account the stability of the nearby buildings and structures / O. V. Trushko, D. V. Kutyavin // Bulletin of Eurasian Science. - 2018. - Vol. 10, № 1. - P. 48.]
6. Hsiung, B.-C. B., Yang, K.-H., Aila, W., & Ge, L. (2018). Evaluation of the wall deflections of a deep excavation in Central Jakarta using three-dimensional modeling. Tunnelling and Underground Space Technology, 72, 84–96. DOI:10.1016/j.tust.2017.11.013
7. Mohsen Farzi, Mohammad S. Pakbaz, Hesam A. Aminpour, Selection of support system for urban deep excavations: A case study in Ahvaz geology, Case Studies in Construction Materials, Volume 8, 2018, Pages 131-138, ISSN 2214-5095, https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.01.004.
8. Raul Fuentes, Anton Pillai, Pedro Ferreira, Lessons learnt from a deep excavation for future application of the observational method, Journal of Rock Mechanics and

Geotechnical Engineering, Volume 10, Issue 3, 2018, P. 468-485, ISSN 1674-7755, https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.004.

9. Ашихмин, О. В. Цифровизация процессов принятия технологических и проектных решений в современном строительстве / О. В. Ашихмин, А. П. Шестакова. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-2-95-103. – Текст: непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. –№ 2 (100). – С. 95–103. [Ashikhmin, O. V. Digitalization of technological and design decision-making processes in modern construction / O. V. Ashikhmin, A. P. Shestakova. - DOI: 10.31660/2782-232X-2022-2-95-103. - Text: direct // Architecture, construction, transportation. - 2022. -№ 2 (100). - P. 95-103.]
10. Знаменский, В. В. Результаты исследования влияния ограждения котлована типа стена в грунте на осадки грунта в основании плитного фундамента высотного здания / В. В. Знаменский, А. Ганболд // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 4. – С. 146-150. [Znamensky, V. V. Results of the study of the influence of the diaphragm wall type excavation enclosure on the ground settlement at the base of the slab foundation of a high-rise building / V. V. Znamensky, A. Ganbold // Innovations and Investments. - 2022. - № 4. - P. 146-150.]
11. Федоров, Д. А. Результаты численного эксперимента по созданию алгоритма принятия проектных решений в строительной практике / Д. А. Федоров, О. В. Ашихмин // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 7(79). – С. 454-464. [Fedorov, D. A. Results of the numerical experiment to create an algorithm for making design decisions in construction practice / D. A. Fedorov, O. V. Ashikhmin // Engineering Gazette of Don. - 2021. - № 7(79). - P. 454-464.]
12. Конюшков, В. В. Сравнительный анализ методов расчетов ограждающих конструкций котлованов / В. В. Конюшков // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 3(86). – С. 92-99. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-92-99. [Konyushkov, V. V. Comparative analysis of the calculation methods of the excavations enclosure structures / V. V. Konyushkov // Bulletin of Civil Engineers. - 2021. - № 3(86). - P. 92-99. - DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-92-99.]
13. Халитова, А. Р. Методика выбора технологии устройства крепления ограждающих конструкций котлована с применением грунтовых инъекционных анкеров / А. Р. Халитова, С. А. Синенко // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 5(77). – С. 287-301. [Khalitova, A. R. Methodology for selecting the technology of fixing the excavation enclosing structures with the use of soil injection anchors / A. R. Khalitova, S. A. Sinenko // Engineering Bulletin of Don. - 2021. - № 5(77). - P. 287-301.]
14. Халитова, А. Р. Сравнение анкерного и распорного методов крепления ограждающих конструкций котлована при строительстве зданий и сооружений / А. Р. Халитова, С. А. Синенко // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 4(76). – С. 408-419. [Khalitova, A. R. Comparison of anchor and spacer methods of anchoring of excavation enclosures during construction of buildings and structures / A. R. Khalitova, S. A. Sinenko // Engineering Bulletin of Don. - 2021. - № 4(76). - P. 408-419.]
15. Довольнов, И. С. Анализ применимости методов подземного строительства гражданских и промышленных зданий / И. С. Довольнов. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-50-57. –Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 2. – С. 50–57. [Dovolnov, I. S. Analysis of applicability of methods of underground construction of civil and industrial buildings / I. S. Dovolnov. - DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-50-57. -Text : direct // Architecture, construction, transportation. - 2021. - № 2. - P. 50-57.]
16. Савиков, Р. А. Сравнительный анализ "стены в грунте" в качестве ограждающей и несущей конструкции / Р. А. Савиков // Молодой ученый. – 2019. – № 22(260). – С. 195-199. – EDN AOVPUF. [Savikov, R. A. Comparative analysis of the "diaphragm wall" as an enclosing and load-bearing structure / R. A. Savikov // Young Scientist. - 2019. - № 22(260). - P. 195-199. - EDN AOVPUF.]
17. Мамонтов, А. О. Потенциальные риски в практике геотехнического моделирования строительных объектов в период действия международных санкций / А. О. Мамонтов, В. В. Полити // Отходы и ресурсы. — 2023 —Т. 10 — № 1 — URL:

https://resources.today/PDF/29ECOR123.pdf DOI: 10.15862/29ECOR123. [Mamontov, A. O. Potential risks in the practice of geotechnical modeling of construction projects during the period of international sanctions / A. O. Mamontov, V. V. Politi // Waste and Resources. - 2023 -T. 10 - NO. 1 - URL: https://resources.today/PDF/29ECOR123.pdf DOI: 10.15862/29ECOR123.]

18. Шакиров И.Ф, Хисматуллин А.Ф. Исследование напряженно-деформированного состояния гибкой ограждающей конструкции с анкерным креплением // Publishing House "Education and Shience", № 18, - Прага, 2014. - 60-64 с. [Shakirov I.F., Khismatullin A.F. Investigation of stress-strain state of flexible enclosing structure with anchoring // Publishing House "Education and Shience", No. 18, - Prague, 2014.- P. 60-64.]
19. Разумнова, Е. А. Анализ современных организационно-технологических решений, применяемых при возведении подземной части объектов высотного строительства / Е. А. Разумнова // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 4. – С. 298-302. [Razumnova, E. A. Analysis of modern organizational and technological solutions used in the construction of the underground part of high-rise construction objects / E. A. Razumnova // Innovations and Investments.- 2021. - № 4. - P. 298-302.]
20. Жеглова, Ю. Г. Методика оценки проектных решений ограждений котлованов / Ю. Г. Жеглова, Б. П. Титаренко // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – Т. 47, № 1. – С. 86-92. – DOI 10.21822/2073-6185-2020-47-1-86-92. [Zheglova, Yu. G. Methodology of evaluation of design solutions of excavation fences / Yu. G. Zheglova, B. P. Titarenko // Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical Sciences.- 2020. - T. 47, № 1. - P. 86-92. - DOI 10.21822/2073-6185-2020-47-1-86-92.]
21. Жеглова, Ю. Г. Анализ проектных решений ограждений котлованов / Ю. Г. Жеглова, Б. П. Титаренко // Автоматизация. Современные технологии. – 2020. – Т. 74, № 9. – С. 390-393. [Zheglova, Yu. G. Analysis of the design solutions of the excavation fences / Yu. G. Zheglova, B. P. Titarenko // Automation. Modern Technologies. - 2020.- T. 74, № 9. - P. 390-393.]
22. Могучев С.Б. Строительный контроль с использованием облака точек и информационной модели здания Инженерный вестник Дона / С.Б Могучев // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 6(90). – С. 580-589. [Moguchev, S.B. Construction control using point cloud and building information model Engineering Bulletin of Don / S.B. Moguchev // Engineering Bulletin of Don. - 2022. - № 6(90). - P. 580-589.]
23. Шулятьев, О. А. Экспериментальные и численные исследования изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива при устройстве стены в грунте траншейного типа / О. А. Шулятьев, Д. К. Минаков // Вестник НИЦ Строительство. – 2018. – № 2(17). – С. 118-135. [Shulyatyev, O. A. Experimental and numerical studies of stress-strain state changes of the soil mass at the diaphragm wall construction / O. A. Shulyatyev, D. K. Minakov // Vestnik SIC Stroitel. - 2018. - № 2(17). - P. 118-135.]
24. Анализ результатов геотехнического мониторинга башни "Лахта Центр" / В. И. Травуш, О. А. Шулятьев, С. О. Шулятьев [и др.] // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 2. – С. 15-21. [Analysis of the results of geotechnical monitoring of the tower "Lakhta Center" / V. I. Travush, O. A. Shulyatyev, S. O. Shulyatyev [et al.] // Foundations, Foundations and Soil Mechanics. - 2019. - № 2. - P. 15-21.]
25. Шулятьев О.А., Минаков Д.К. Технологические осадки при устройстве стены в грунте траншейного типа // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 3. – С. 41–50. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.05. [Shulyatiev, O.A.; Minakov, D.K. Technological precipitation during the construction of a trench-type diaphragm wall (in Russian) // Vestnik of PNIPU. Construction and Architecture. - 2017. - T. 8, № 3. - P. 41-50. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.05]
26. Cui, Z., Li, Q. and Wang, J. (2019) “Mechanical performance of composite retaining and protection structure for super large and deep foundation excavations”, Journal of Civil

Engineering and Management, 25(5), P. 431-440. doi: 10.3846/jcem.2019.9873.
27. Saeed Askarian, Ali Fakher, Design of deep urban excavations using life cycle cost in comparison with acceptable risk and conventional method, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 112, 2021, 103868, ISSN 0886-7798, https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.103868.
28. Yubing Yang, Caiyuan Chen, Chao Liu, Longtian Huang, Wei Chen, Nengyou Lin, Jie Cui, Wandong Xie, Performance of a deep excavation and the influence on adjacent piles: A case history in karst region covered by clay and sand, Underground Space, Volume 8, 2023, Pages 45-60, ISSN 2467-9674, https://doi.org/10.1016/j.undsp.2022.03.004.
29. Bangke Ren, Yi Shen, Tengteng Zhao, Xiaojun Li, Deformation monitoring and remote analysis of ultra-deep underground space excavation, Underground Space, Volume 8, 2023, Pages 30-44, ISSN 2467-9674, https://doi.org/10.1016/j.undsp.2022.04.005.
30. Acar M. C. , Kekül A. Comparative analysis of an anchored retaining wall system in a deep foundation excavation: A case study of Sivas Cultural Center Building in Türkiye. Turkish Journal of Engineering. 2023; 7(3): 227-235. DOI: 10.31127/tuje.1103007
31. Yong Tan, Hehua Zhu, Fangle Peng, Kjell Karlsrud, Bin Wei, Characterization of semi-top-down excavation for subway station in Shanghai soft ground, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 68, 2017, Pages 244-261, ISSN 0886-7798, https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.05.028.
32. Y.P. Dong, H.J. Burd, G.T. Houlsby, Finite element parametric study of the performance of a deep excavation, Soils and Foundations, Volume 58, Issue 3, 2018, Pages 729-743, ISSN 0038-0806, https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.03.006.

Информация об авторах

Дания Мансуровна Нуриева, доцент, кандидат технических наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация.
E-mail: danm_n@mail.ru
Иван Владиславович Агафонов, инженер, АО "НЕФТЕХИМПРОЕКТ", г. Казань, Российская Федерация
E-mail: ivanagafonov.work@gmail.com

Information about the authors

Nurieva M. Daniya, associate professor, candidate of technical sciences, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: danm_n@mail.ru
Ivan V. Agafonov, engineer, JS «NEFTEKHIMPROEKT», Kazan, Russian Federation
E-mail: ivanagafonov.work@gmail.com

УДК: 72.007
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_73
EDN: GPTMIR

Роль губернского архитектора Фомы Ивановича Петонди, как управленца и градостроителя, в развитии Казани

Х. Г. Надырова,[1] В. В. Нурмухаметов,[1] А.М. Сулейманов[12]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Актуальность исследования заключается в нескольких положениях: период деятельности губернского архитектора Фомы Ивановича Петонди недостаточно изучен, не установлен контекст осуществления архитектурной и градостроительной деятельности в Казанской губернии первой половины XIX века. *Целью* данной работы является установление принципов устройства и осуществления архитектурной деятельности губернских архитекторов указанного периода, а также выявление личного вклада Фомы Ивановича Петонди в архитектурную деятельность Строительного комитета Казанской губернии, как городского планировщика, представителя архитектурного надзора и управленца.
Задачи исследования включают в себя библиографический анализ деятельности губернского архитектора Петонди, изучение принципов устройства и осуществления архитектурной деятельности губернских архитекторов указанного периода, выявление особенностей осуществления функций губернского архитектора в роли управленца и градостроителя.
Результаты. По результатам исследования было выявлено, что Петонди был первым губернским архитектором, действовавшим в соответствии с первой редакцией Строительного Устава и ведущим полноценную градостроительную деятельность в Казанской губернии. Доказано, что губернский архитектор осуществляет роль архитектурного надзора, земельного управления и должностного взаимодействия архитектора с полицейскими частями, пожарным управлением. Установлены предпосылки включения изменений в регулярный план города, а также высказаны предположения о пересмотре масштабов внесенных Петонди изменений в регулярную структуру города.
Выводы. Значимость проведенной работе заключается в выявлении особенностей осуществления архитектурной деятельности губернского архитектора, а также в установлении фактических границ регулярного плана Казани, разработанного Петонди в 1838 года. Материалы данного исследования помогут более глубоко изучить архитектуру Казани и установить реальный вклад Петонди в развитие города.

Ключевые слова: губернский архитектор, классицизм, архитектура Казани, памятники истории и архитектуры

Для цитирования: Надырова Х. Г., Нурмухаметов В. В., Сулейманов А.М. Роль губернского архитектора Фомы Ивановича Петонди как управленца и градостроителя в развитии Казани // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 73-84, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_73, EDN: GPTMIR

The role of the provincial architect Foma Ivanovich Petondi as a manager and an urban planner in the development of Kazan

Kh. G. Nadyrova,[1] V. V. Nurmukhametov,[1] A .M. Suleymanov[12]
[1]Kazan State University of Architecture and Civil Engineering,
Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* The relevance of the research lies in several provisions: the period of activity of the provincial architect Foma Ivanovich Petondi is insufficiently studied, the context of the implementation of architectural and urban planning activities in the Kazan province of the first half of XIX century is not revealed. *The purpose* of this work is to establish the principles of the organization and implementation of architectural activities of provincial architects of the specified period, as well as to identify the personal contribution of Foma Ivanovich Petondi to the architectural activities of the Construction Committee of Kazan province, as an urban planner, representative of architectural supervision and a manager. *The objectives* of the study include a bibliographic analysis of the activities of the provincial architect Petondi, the study of the principles of the structure and implementation of the architectural activities of the provincial architects of the specified period, the identification of the features of the functions of the provincial architect in the role of a manager and an urban planner. *Results.* According to the results of the study, it was revealed that Petondi was the first provincial architect who acted in accordance with the first edition of the Building Charter and conducted full-fledged urban planning activities in the Kazan province. It is proved that the provincial architect performs the role of architectural supervision, land management and official interaction of the architect with police units and fire department. Prerequisites for the inclusion of changes in the regular city plan are established, and assumptions are made about the revision of the scale of the changes made by Petondi to the regular structure of the city.
Conclusions. The significance of the work carried out lies in identifying the features of the architectural activities of the provincial architect, as well as in establishing the real boundaries of the regular plan of Kazan, developed by Petondi in 1838. The materials of this research will help to study the architecture of Kazan deeper and establish the real contribution of Petondi to the development of the city.

Keywords: provincial architect, classicism, architecture of Kazan, historical and architectural monuments

For citation: Nadyrova Kh.G., Nurmukhametov V.V., Suleymanov A.M. The role of the provincial architect Foma Ivanovich Petondi as a manager and an urban planner in the development of Kazan // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 73-84, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_73, EDN: GPTMIR

1. Введение

Первая половина XIX века, как период в развитии архитектуры Казанской губернии, на сегодняшний день находится в тени других исследований, посвященных отдельным выдающимся личностям, сыгравшим важнейшую роль в развитии архитектуры Казани. Это вызвано с трудностями в архивных исследованиях, а также с большим наслоением типовой «образцовой» застройки города, связанных с сильнейшими пожарами, охватившими город весной 1815 года. Огнем были уничтожены 70 кварталов, 1500 домов и 19 церквей. А пожар 1842 года нанес непоправимый ущерб 1309 зданиям. Кроме того, трудности в изучении данного периода можно связать со множеством реформ, повлиявшим на работу номенклатурных учреждений, ведущих контроль за городским развитием. Кроме того, строительное законодательство и формы управления

архитектурной деятельностью развивались неравномерно и подвергались частным изменениям, ввиду особенностей развития и роста России в период с XVI по XX век.

В настоящее время первая половина XIX в. в Казани является самым неизученным периодом Нового времени. Более ранние периоды нашли отражение в трудах П.М. Дульского, В.В. Егерева. Творчество архитектора Ф.Н. Малиновского исследовано в работе С.В. Новикова, вторая половина XIX в. - в трудах Л.М. Муртазиной. Однако, сегодня вновь появился большой интерес к периоду классицизма в других городах России. Изучаются этапы становления, развития и особенности классицизма в столичных и других городах России на уровне градостроительства и архитектуры [1, 2].

В рамках других исследований внимание сфокусировано на влиянии стиля классицизм на деревянную архитектуру русских городов [3]. Исследователи изучают историю первых доходных домов в контексте классицистической застройки Казани [4]. Отдельные исследования посвящены объектам Ф.И. Петонди. Интересен творческий процесс проектирования Ф.И. Петонди «дворца, предполагаемого вновь построить в Казанской крепости на месте, Его Императорским Величеством 20 августа 1836 г. назначенном». Речь идет о Губернаторском дворце Казанского кремля [5].

Несмотря на итальянское происхождение семейства Петонди, в зарубежных источниках не упоминаются какие-либо исследования, связанные с деятельностью данного рода или с историей архитектуры Казанской губернии первой половины XIX века. Таким образом, исходя из специфики темы исследования, обзор зарубежных источников раскрывает данную тему лишь косвенно. Современные авторы исследуют влияние исторических стилей архитектуры, в том числе классицизма, на современные города, а также использование элементов классицизма или его идеологии в современной европейской архитектуре [6, 7].

Несмотря на то, что классицизм имеет интернациональные корни, авторы усматривают влияние на его архитектуру зодчества других стран. Ю.Г. Клименко определяет итальянские корни в работе с элементами кровли в архитектуре Франции XVII - начала XIX в., поскольку французский классицизм оказал влияние на русский классицизм [8]. Большой интерес в современных исследованиях, связанных с реставрацией и историей архитектуры представляет серия работ, посвященных классицизму в Скандинавии [9, 10].

Значение архитектуры классицизма, на период развития которого в XIX в. приходится творчество Ф.И. Петонди в Казани, не было потеряно и в архитектуре второй половины XIX-XX вв. Анализу использования традиций классицизма в архитектуре XIX века посвящены специальные публикации, в которых подробно рассматривается, как тенденции классицизма повлияли на стиль-преемник: эклектику и сформировали в нем целое классицистическое направление [11]. Еще более интересный и неожиданный взгляд на классицизм представляет анализ взаимосвязи африканской и американской культур в классицистической архитектуре Америки [12]. Исследователи прослеживают ряд трансатлантических архитектурных связей, сформировавшихся в эпоху империй, при которых традиции классицизма нашли совместимость с традициями коренных народов. В этом аспекте интересно рассмотрение взаимосвязи классицистических традиций в русской архитектуре и колористических традиций татар.

Однако в перечисленных работах не исследована деятельность губернских архитекторов, как лиц, осуществлявших архитектурную и градостроительную деятельность на уровне таких административных единиц, как губерния или город и т.д.

Цель работы: установление принципов устройства и осуществления архитектурной деятельности губернских архитекторов указанного периода, а также выявление личного вклада Фомы Ивановича Петонди в архитектурную деятельность Строительного комитета Казанской губернии, как городского планировщика, представителя архитектурного надзора и управленца.

Задачи исследования включают в себя архивно-библиографический анализ деятельности губернского архитектора Петонди; изучение принципов устройства и осуществления архитектурной деятельности губернских архитекторов указанного периода; выявление особенностей осуществления функций губернского архитектора в роли управленца, градостроителя и представителя архитектурного надзора.

2. Материалы и методы

Используемые в исследовании данные были получены из архивных материалов Государственного архива Республики Татарстан, научной библиотеки им. Н.И. Лобачевского Казанского федерального университета, архива кафедры реконструкция, реставрация архитектурного наследия и основ архитектуры Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Методика данного исследования базируется на комплексном анализе, включающем в себя методы историко-архивного, библиографического, сравнительного, картографического и др. анализа. Важное значение в работе имели материалы натурного обследования застройки Казани, проведенного с применением фотофиксации, выполнением кроков и схем.

3. Результаты и обсуждение

Сегодня хорошо известно понятие «губернский архитектор», как формальная должность, существовавшая в Российской империи, связанная с осуществлением и регулированием архитектурно-строительной деятельности в губерниях. Эта должность возникла в соответствии с указом Екатерины II «Учреждения для управления губерний Всероссийской империи» от 7 ноября 1775 г. и ее же последующими распоряжениями о включении в местные управления новых должностных лиц, профессионально владевших вопросами градостроительства и архитектуры. В число обязанностей губернских архитекторов входили составление проектов и смет на постройки, поверка проектной документации, освидетельствование имеющихся строений, предложения по размещению новых общественных зданий и по формированию в городах архитектурных ансамблей [13].

Однако начало регулирования строительства корректнее связывать с правлением Петра I. Еще в 1718 г. Петр I писал о необходимости создания специальной Коллегии, которая бы курировала архитектурно-художественную область градостроительного содержания, управляла процессом архитектурно-строительной деятельности. Особенно интенсивно реформы управления строительством происходили в XIX веке.

Государственные реформы первой половины XIX века определили направление перестройки центральных ведомств, и принципы их взаимосвязи с территориальными органами управления [14]. Характерной чертой управления становится систематизация и законодательное регулирование, идущие по четкой вертикали власти: от столицы – к губерниям, от губернаторов к дворянству, от дворянства – к сословиям [15]. Для решения вопросов строительства казенных объектов (присутственных мест, тюремных замков, зданий губернского и местного управления, карантинов, хлебных магазинов и т. п.) был создан Департамент государственного хозяйства и публичных зданий. При этом именно на губернатора ложилась вся ответственность за проведение строительных мероприятий на подведомственной ему территории. Законность этих мероприятий предполагала ведение строительства согласно Высочайше конфирмованному генеральному плану, не отступая от разработанных типовых проектов казенных объектов. В 1829 г. был создан Штаб корпуса инженеров путей сообщения, имевший военизированный характер. Между центральным ведомством и губернским уровнем возникли Окружные правления, объединившие несколько губерний. Окружные правления позволяли координировать вопросы строительства дорог, а также решать некоторые вопросы без непосредственной связи с центром

В 1832 году начала действовать первая редакция Строительного устава. Строительный Устав регламентировал обеспечение пожарной безопасности при строительстве зданий и сооружений. Кроме этого, устав формулировал правила благоустройства, хозяйственной деятельности, организации транспортной сети в населенных пунктах. Первый Устав строительный объединил в себе законодательные положения как XVIII, так и начала XIX вв. Высочайше утверждённое 29 сентября (11 октября) 1832 года «Положение о новом образовании строительной части гражданского ведомства» стало ярким отражением идей централизации, присущих правлению Николая I. Оно поставило гражданское строительное дело, наряду с путями сообщения, в

подчинение единому «Главному управлению Путей Сообщения и Публичных зданий», приближавшемуся к типу западноевропейских «министерств общественных работ». Главному управлению в 1833 году были переподчинены губернские строительные комиссии (впоследствии преобразованы в губернские строительные и дорожные комиссии). «Строительные комиссии в губерниях состояли, под председательством губернаторов, из трех членов: асессора, губернского архитектора и помощника его; кроме того - одного или двух офицеров корпуса путей сообщения» [16]. Губернские архитекторы, помимо строительной работы в губерниях, превратились в низовое звено продолжительной цепи согласований проектов, которая доходила до Петербурга.

Шесть продолжений Строительного устава, вышедших в течение 10-ти лет, показывают кропотливую работу законодателей по построению управления ведомства на новых началах.

В 1842 г. был выпущен новый Устав строительный [17]. На основании Строительного устава должность губернского архитектора была узаконена для всей империи. Занимать её могли «техники по строительной части», окончившие соответствующие учебные заведения.

Таким образом, установлено, что:

- Первая половина XIX века – период, когда активно формируется понятие и должность губернского архитектора в Российской империи. Предшествующие законодательные понятия и акты, связанные со строительством и местным управлением, нормируются и выстраиваются в единую вертикаль.
- Строительный устав в первой половине XIX века получает две редакции: в 1832-м и 1842-м годах, в 1863 году появляется третья редакция, которая дополняется до 1879 года, последняя редакция строительного устава датируется 1900 годом.
- Наряду с Уставом строительным политика государства в области архитектурно-строительного законодательства, включающего вопросы развития территорий, проектной и строительной деятельности, городского хозяйства, транспорта и промышленности была отражена в следующих документах: Свод государственного благоустройства, Свод учреждений государственных и губернских, Свод казенного управления (включающий Свод устава горного), Свод законов гражданских и межевых.
- Губернские архитекторы входят в низовое звено цепи согласований проектов, занимая правовую роль в следующей схеме: губернский архитектор – строительная комиссия – министерство путей сообщения Российской Империи.

Исходя из вышеизложенных материалов, можно определить, что первыми губернскими архитекторами, столкнувшимися со столь масштабными переменами в архитектурно-строительной деятельности городов и наблюдавшими за частными постройками во всем городе Казань, были Александр Кириллович Шмидт (1783-1843 гг.) и Фома Иванович Петонди (1794 – 1874 гг.). Однако, А.К. Шмидт в 1832 году отправляется под суд за неправильные постройки арсенала и питейного дома. Ему на смену приходит Ф.И. Петонди, который в 1844-м году, спустя 2 года после появления второй редакции Строительного устава, тоже отправляется под суд по делу за якобы злоупотребления при постройке Родионовского института в Казани (оправдан в 1856 году). Кроме того, незадолго до начала судебных тяжб по постройке Родионовского института военный губернатор С.П. Шипов увольняет архитектора Ф.И. Петонди от его партикулярных обязанностей: производству и наблюдению за частными постройками в городе Казань и распределяет его обязанности между прочими городскими архитекторами[1].

Такая череда смен ведущих губернских архитекторов в период внедрения Строительного устава и выстраивания вертикали управления архитектурно-градостроительной деятельностью в России объясняется непомерными профессиональными нагрузками, что, очевидно, приводило к ошибкам, а порою - к сведению счетов с архитекторами со стороны заказчиков. Об этом свидетельствует

[1] НБ КФУ. ОРРК, ед. хр. 8979.

профессиональная деятельность Ф.И. Петонди в этот период. Как губернский архитектор и член совета губернской Строительной комиссии, он ведет масштабную деятельность в делопроизводстве, согласовывая множество строящихся проектов, составляя сметы и наблюдая за производством строительства. Ф.И. Петонди пишет рапорты о согласовании (дозволении) постройки объектов купцам[2], собирает данные о незаконных постройках и ведет надзор за городским строительством. Подтверждением этому служит дело о представлении Губернского архитектора Ф.И. Петонди о незаконных постройках жителями г.Казани[3]. А подтверждением этого объяснения служит тот факт, что Ф.И.Петонди был оправдан в 1856 году.

Особой вехой деятельности Ф.И. Петонди, как градостроителя, становится доработка и внесение изменений в 1838 году в регулярный план Казани, конфирмованный еще в 1768 году, и в который вносились изменения в 1793, 1807 годах. Главными корректировками, внесенными в план, становится укрупнение жилых кварталов, присоединение к центру зеленых окраин, прокладка магистральных улиц. Именно в этот план вносились дальнейшие изменения и дополнения.

Как известно, первый регулярный план Казани был разработан Василием Ивановичем Кафтыревым (утвержден 17 марта 1768 г.). Регулярный план распространялся только на центральные районы города, размещавшиеся на верхнем плато у Кремля, в границах существовавшего ранее посада. По этому плану промышленные предприятия располагались в слободах, вокруг озера Кабан, за специально вырытым рвом. А на такие слободы, как Засыпкина, Федоровская, Мокрая, Адмиралтейская, Кизическая и другие – регулярный план не распространялся, поскольку эти территории не входил в состав города. Также под реконструкцию не попали и улицы, проходившие по устьям и склонам оврагов, где проживали бедные слои населения (современные ул. Пушкина, Щапова, Некрасова, Бутлерова, Волкова и Калинина).

Таким образом, важной предпосылкой появления изменений в плане становятся хаотичный и беспорядочный рост нетронутых регулированием слобод, а также частей города в южном и юго-западном направлениях. Непредусмотренные планом резервные территории для нового строительства приводят к стихийному расширению городской застройки. Так богатая часть населения самостоятельно строит свои дома в Красной Слободе (поселение на восточной окраине Казани, располагавшееся в то время в районе современных улиц Большая и Малая Красная, Гоголя, Пушкина и др.) и Арской дороге (ныне Карла Маркса). Социально менее защищенные слои населения беспорядочно застраивают слободы, в том числе Подлужную, одну из самых сложных и непригодных к проживанию слобод. В низких подслеповатых халупах при страшной скученности жили те, кто не мог рассчитывать на более приличное жилье. Здесь до конца XIX века не было ни водопровода, ни канализации, ни пожарной части. Также продолжали разрастаться уже упомянутые овражные территории, лишенные канализации, проездов и снабжения. Данная ситуация видна на схеме наложения планировочной структуры регулярного плана Казани 1768 года на ситуацию 1817 года (рис. 1), где регулярный план выделен черным цветом, а новые, нанесенные на карту территории – красным. Так, мы видим относительно регулярную структуру в районе Красной слободы, что сыграет большую роль в регулярном плане Ф.И. Петонди, а также жилые массивы в овражной территории в районе Первой-Третьей горы.

Новый регулярный план Ф.И. Петонди учитывает ранее существующую планировку, а также сохраняет регулярную структуру, выполненную по проекту В.И. Кафтырева, ограничиваясь лишь малозначительными правками в первой и второй частях города. Петонди сохраняет прямоугольную сетку улиц и существующие магистрали, ведущие к Кремлю, о чем свидетельствует сопоставление схем регулярных планов архитекторов, где черным выделен регулярный план 1768 года, и красным – новый регулярный план 1838 года (рис. 2). В ходе разработки регулярного плана Ф.И. Петонди закрепляет положение существующей Театральной площади (современная площадь Свободы) путем включения ее в недавно сложившуюся структуру Красной слободы. Это

[2] ГА РТ Ф. 409, ОП. 1, Д. 1792, Л. 9.
[3] ГА РТ Ф. 409, ОП. 1, Д. 486, Л. 7.

происходит ввиду того, что из-за высокого статуса проживающих в слободе людей, строительство на ней осуществлялось под надзором городских архитекторов, что позволило Ф.И. Петонди практически без изменений включить новообразованные улицы в границы регулярной застройки города. В соответствии с новым планом формируются нынешние улицы Большая и Малая Красная, Горького, Галактионова, Жуковского. Они выпрямляются, получают торцовые или булыжные мостовые, со временем на них появляется и уличное освещение.

Большим вызовом для архитектора становится присоединение к городу и регулирование застройки овражных территорий, а также территорий у Арской дороги и в районе Суконной слободы (ул. Петербургская), так как из-за сложного рельефа, а также отсутствия или минимального надзора со стороны городских архитекторов.

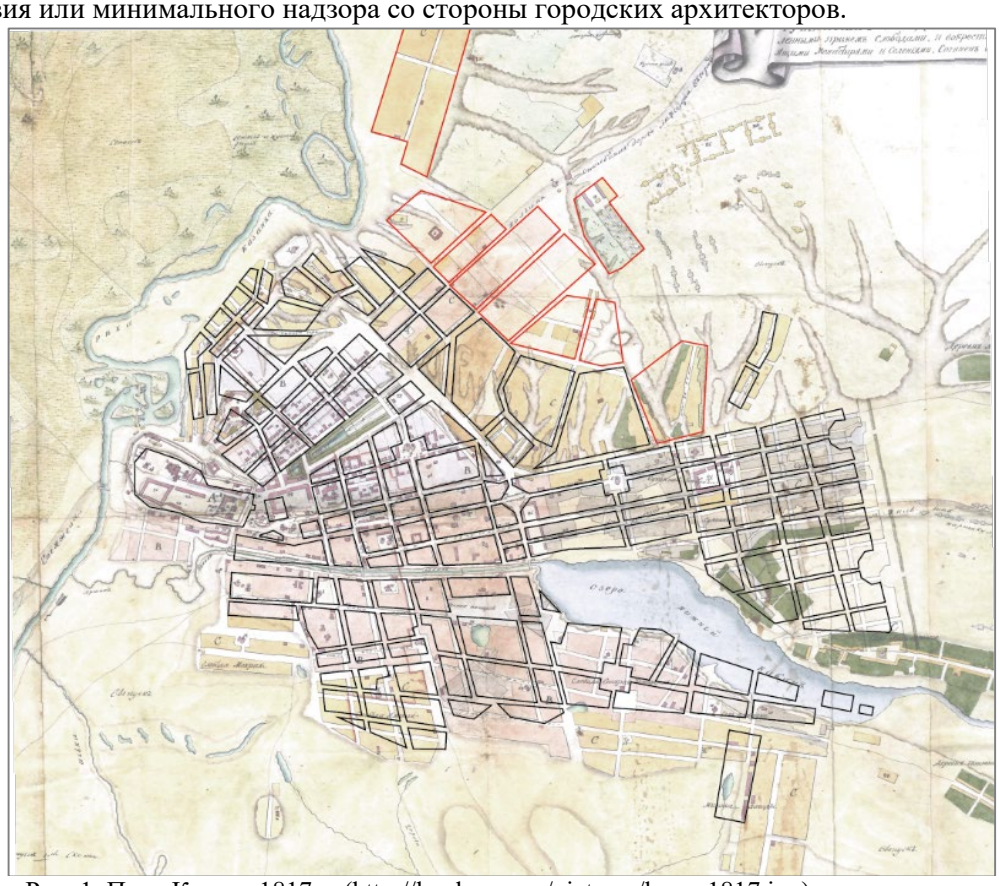


Рис. 1. План Казани 1817 г. (http://lowkee.com/pictures/kazan1817.jpg) с выделением планировочной структуры 1768 г. (выделена черным цветом) и вновь распланированных в 1838 г. территорий (выделены красным цветом) (иллюстрация авторов)

Fig. 1. The plan of Kazan in 1817 with the allocation of the planning structure of 1768. (highlighted in black) and newly planned territories (highlighted in red) (illustration by the authors)

Рис. 2. Схема планировки Казани. Черным цветом выделены кварталы по плану 1768 года, красным цветом указаны кварталы по плану 1838 г.
(схема плана авторов)
Fig. 2. Layout scheme of Kazan. Blocks according to the plan of 1768 are highlighted in black, blocks according to the plan of 1838 are indicated in red.
(outline of the authors' plan)

Территория между этими улицами была сплошь изрезана глубокими оврагами и рвами, по склонам и высям которых без соблюдения какой-либо стеки улиц стояли беспорядочно разбросанные постройки [18]. Земельные участки, находящиеся на верхней террасе, было плотно заселены, однако подъехать к ним с нижней части города было невозможно, так как они размещались над крутым обрывом. Так, архитектор запроектировал съезды с этих тупиков на Георгиевскую улицу (ул. Петербургская), сделав по ним сквозной проезд. Затем он удачно разместил улицы Первая гора (ул. Ульянова-Ленина), Вторая гора (ул. Волкова), Третья гора (ул. Калинина) на существующем рельефе «верхней террасы», имевшем достаточно крутой уклон, и связал их новыми, поперечными улицами с Красной слободой и Арским полем. Помимо этого, Ф.И. Петонди решает проблему о сбросе сточных ливневых вод путем организации правильных уклонов на новых улицах, избегая дополнительных инженерных мероприятий. Также успешно проходит и включение в городскую структуру Подлужной слободы. Согласно архивным данным, Ф.И. Петонди лично ведет межевые дела и выделяет земельные участки для городских жителей в недавних «трущобах», переселяя туда состоятельные семьи[4], что в дальнейшем приведет к положительному росту слободы, и сделает улицу Подлужная одной из самых привлекательных территорий современного города. Опираясь на архивные данные о проектировании плана в южной и западной части города, а также на скорректированные планы города после 1842 г., можно предположить о том, что Ф.И. Петонди так же мог разработать регулярные планы для Адмиралтейской, Рабочей, Ягодной, Новотатарской и Архангельской слобод. Так, на плане Казани, конфирмованном в 1842, 1845 и 1848 годах, можно увидеть, что данные слободы включены в систему регулярного плана и имеют структуру, подобную той, что разработал Ф.И. Петонди (рис. 3).

При этом в 1834 г. землемером Н.П. Селезневым были выполнены съемочные планы натурного положения слобод, на которые мог опираться Ф.И. Петонди. Однако, эти данные требуют дополнительной проверки.

[4] ГА РТ Ф. 409, Оп. 1, Д. 2022, Л. 30; ГА РТ Ф. 324, Оп. 731, Д. 732; ГА РТ Ф. 91, Оп. 1, Д. 1.

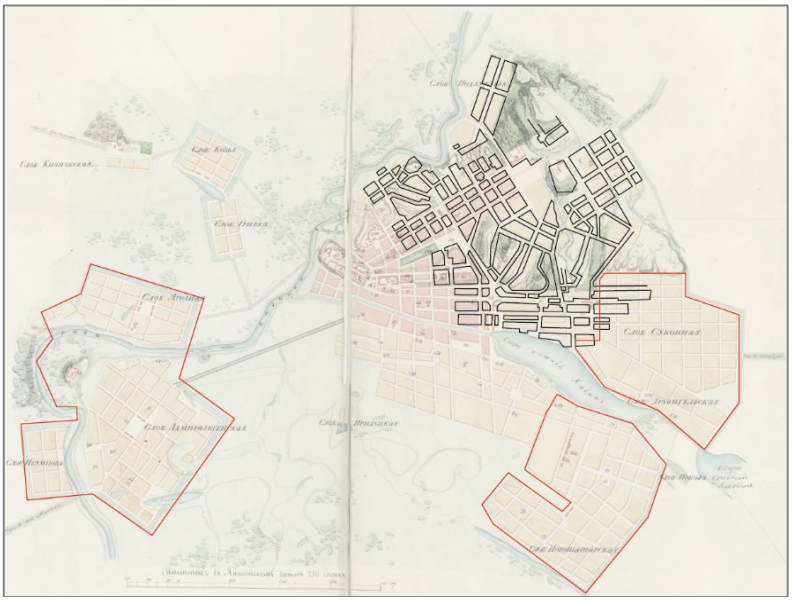


Рис. 3. Схема плана Казани Ф.И. Петонди 1848 года с выделенными территориями пригородных слобод (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Scheme of the plan of Kazan by F.I. Petondi in 1848 with the allocated territories of suburban settlements (illustration by the authors)

Новая планировка развивает замысел В.И. Кафтырева и создает лучшую пространственную организацию застройки, не принуждая город к масштабным и дорогим мероприятиям по изменению его структуры.

В качестве материалов для обсуждения выносится предположение о том, что регулярный план 1838 года включал в себя не только присоединение Красной, Подлужной слобод и Арской дороги, а также территорий Первой, Второй и Третьей горы в регулярный план [18], согласно картографическим материалам и сохранившимся проектам и архитектурным памятникам, упомянутым в работе Л.М. Муртазиной можно отследить, что такие слободы, как Адмиралтейская, Рабочая, Ягодная, Новотатарская и Архангельская, также были затронуты в ходе работ по разработке регулярного плана Ф.И. Петонди. Об этом может свидетельствовать появление регулярной планировочной структуры на территориях пригородных слобод, выявленной при картографическом анализе планов города. Данное предположение требует дальнейшего изучения и подтверждения. Основной трудностью данного исследования является поиск архивных материалов с оригинальными чертежами регулярного плана Казани Ф.И. Петонди.

4. Заключение

1. Архивно-библиографический анализ деятельности губернского архитектора Ф.И. Петонди выявил, что он занимался всеми видами деятельности, которые предписывались по должности губернскому архитектору: проектной, надзорной, управленческой.

2. Изучены принципы устройства и осуществления архитектурной деятельности губернских архитекторов указанного периода.

3. Выявлены особенности осуществления функций губернского архитектора Ф.И. Петонди в роли управленца, градостроителя и представителя архитектурного надзора.

- Установлен вклад губернского архитектора Фомы Ивановича Петонди в градостроительное развитие города Казань. Самым главным достижением архитектора становится проект нового регулярного плана 1838 г. на основе корректировки планов Казани 1768 и 1817 годов. План, конфирмованный в 1839 г., включил урегулированные пригородные слободы на основе их аккуратной реновации, предусмотрел резервные территории для удовлетворения будущих нужд застройщиков развивающейся Казани. После пожара в Казани в 1842 г., имевшего катастрофические масштабы, этот план корректировался и подвергался конфирмации в 1845 и 1848 годах. Следующий план, корректировавший планировочную структуру Казани, был утвержден в 1884 году.

- Установлена роль Фомы Ивановича Петонди, как представителя архитектурного надзора и управления. Согласно выявленным архивным документам, архитектор принимал активное участие в создании новых земельных участков, упорядочивании существующих, а также в благоустройстве новых территорий. Установлена связь архитектора с другими органами управления, такими как полицейские части и пожарное управление. Все это свидетельствует о высоком качестве выполненных Ф.И. Петонди работ, как в сфере городского планирования, так и в качестве управления и надзора за работами по приведению регулярного плана в жизнь.

Работа актуализирует исследование развития архитектурно-планировочной структуры Казани в первой половине XIX века, когда реализовывался грандиозный замысел преобразования средневековых поселений России в города новейшего времени. В этом процессе определено важное значение деятельности губернского архитектора Фомы Ивановича Петонди. Результатами его работы стало пространственное объединение центра города и прилегавших слобод, повышение архитектурного качества застройки Казани.

Список литературы/ References

1. Герасимов А.П., Корж М.И. Влияние классицизма на градостроительство городов Западной Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 3. С. 81-97. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-3-81-97 [Gerasimov A.P., Korzh M.I. The influence of classicism on urban planning of cities in Western Siberia // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2021. Vol. 23. No. 3. P. 81-97.]
2. Бабинович Н.У., Ситникова Е.В. Особенности классицизма в застройке городов России и Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 3. С. 23−36. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-3-23-36. [Babinovich N.U., Sitnikova E.V. Features of classicism in the construction of cities in Russia and Siberia // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. Vol. 22. No. 3. P. 23-36].
3. Глибкина Т.М. Развитие стиля классицизм в деревянной жилой застройке Вологды XIX века // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. №2(63). С. 25-40. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-25-40. https://marhi.ru/AMIT/2023/2kvart23/PDF/01_glibkina.pdf [Glibkina T.M. The development of the classicism style in the wooden residential buildings of Vologda of the XIX century// Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. Vol. 22. No. 3. P. 23-36. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-3-23-36]
4. Васильева Ю.В., Хайруллина А.Т., Новиков С.В. История первых доходных домов Казани // Мир искусств: Вестник Международного института антиквариата. 2013. № 3 (03). [Vasilieva Y.V., Khairullina A.T., Novikov S.V. History of the first commercial apartment buildings of Kazan // The World of Art: Bulletin of the International Institute of Antiques. 2013. № 3 (03)].
5. Нугманова Г.Г. Резиденции российской власти в провинции конца XVIII - XIX века // Academia. Архитектура и строительство 2017. № 3. [Gilemkhanovna N.G. Residences of Russian authorities in the provinces of the late XVIII-XIX centuries // Academia. Architecture and construction 2017. No. 3].
6. Kazhar Nina. Traditions of Classicism in the European Architecture of the XX Century// IOP Conference Series Materials Science and Engineering. volume 471:082019. February 2019. - DOI:10.1088/1757-899X/471/8/082019.
7. Shvidkovsky Dmitry The Architecture of the Enlightenment and the Birth of Modernity: from the High Baroque to Late Classicism / Scientific and analytical journal Burganov House The space of culture. September 2020. DOI:10.36340/2071-6818-2020-16-3-47-60.
8. Клименко Ю.Г. Роль плоской «итальянской» кровли в архитектуре французского классицизма // Вопросы всеобщей истории архитектуры. Вып. 12. М.; СПб.:

Нестор-История, 2019. С. 204-235. [Klimenko Yu.G. The role of a flat «Italian» roof in the architecture of French classicism // Questions of the general history of architecture. Vol. 12. Moscow; St. Petersburg: Nestor-History, 2019. P. 204-235].
9. Aksenova Z., Belousova O. Classical trends in the architecture of botanical objects in Scandinavia // Civil Engineering and Architecture. Horizon Research Publishing, 2020. Vol. 8, № 4. P. 426–432.
10. Kallestrup S. John Stewart. Nordic Classicism: Scandinavian Architecture 1910–1930 // Scandinavian Studies. Society for the Advancement of Scandinavian Study, 2021. Vol. 93, № 2. P. 295–299.
11. Negulyaeva T V, Dyadchenko S F . Classicism in Saratov's Later 19th Century Architecture // 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1079 062019. DOI 10.1088/1757-899X/1079/6/062019.
12. Nathaniel Robert Walker. Classicisms of Color: Transatlantic Exchanges in African and American Traditional Architecture //Journal of Traditional Building, Architecture and Urbanism. 2021. Vol. - (2), 2. - P. 437-451. DOI: 10.51303/jtbau.vi2.531/URL:https://www.traditionalarchitecturejournal.com/index.php/home/article/view/531
13. Муртазина Л.М. Профессиональная деятельность архитекторов Казанской губернии: Вторая половина XIX - начало XX вв.: дис. канд. ист. Наук: 07.00.02.- Казань, 2000. -183 с: ил. РГБ ОД, 61 01-7/458-8 [Murtazina L.M. Professional activity of architects of the Kazan province: The second half of XIX - early XX centuries: dis. ... candidate of Historical Sciences: 07.00.02. - Kazan, 2000. - 183 p.: il. RGB OD, 61 01-7/458-8].
14. Золотарева М.В. Реформы управления строительством в XIX века в России // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2021. № 11. с. 78–88. [Zolotareva M.V. Reforms of construction management in the XIX century in Russia // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. G. Shukhov. 2021. № 11. P. 78-88].
15. Нурмухаметов В.В., Гайнуллина Л.Ф. Образцовое проектирование первой половины XIX века как особенность архитектуры классицизма в России на примере Казанской губернии // // Гуманитарные науки в XXI веке: научный Интернет-журнал. 2022. с 90–102. [Nurmukhametov V.V., Gaynullina L.F. Pattern design of the first half of the XIX century as a feature of classicism architecture in Russia on the example of Kazan province // // Humanities in the XXI century: scientific Internet-journal. 2022. P. 90-102.].
16. Золотарева М.В. Законодательные основы архитектурно-строительной деятельности в первой половине XIX века// Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. №1 (36). [Zolotareva M.V. Legislative foundations of architectural and construction activities in the first half of XIX century // News of universities. Investments. Construction. Real estate. 2021. No. 1 (36)].
17. Золотарева М.В. Регулирование архитектурно-строительного процесса в России в 1830-х гг. (в соответствии с Положением о городских Строительных Комитетах) // Известия ВУЗов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. ННГАСУ (Сибстрин). 2019. №3(30) [Zolotareva M.V. Regulation of the architectural and construction process in Russia in the 1830s. (in accordance with the Regulations on City Construction Committees) // News of Universities. Investments. Construction. Real estate. NNGASU (Sibstrin). 2019. № 3(30)].
18. Остроумов В.П. Казань. Очерки по истории города и его архитектуры // Казанский университет. 1978. 296 с.. [Ostroumov V.P. Kazan. Essays on the history of the city and its architecture // Kazan University. 1978. 296 p.].

Информация об авторах

Надырова Ханифа Габидулловна, доктор архитектуры, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: nadyrova-kh@yandex.ru

Нурмухаметов Валерий Валерьевич, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: valerychkalov211@gmail.com
Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru

Information about the authors

Hanifa G. Nadyrova, doctor of architecture, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: nadyrova-kh@yandex.ru
Valery V. Nurmukhametov, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: valerychkalov211@gmail.com
Alfred M. Suleimanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corr.-m. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru

УДК: 711.42
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_85
EDN: HAHFUK

Типологические особенности исторических жилых домов города Самсун: архитектурное, историческое и культурное значение

М. Байрам Бекир[1]
[1]Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет,
г. Баку, Азербайджан

Аннотация: *Постановка задачи.* Статья рассматривает типологические примеры исторических жилых домов, расположенных в прибрежной зоне города Самсун в северных провинциях Турции. Исследование основано на архитектурных, планировочных и конструктивных характеристиках этих домов, с учетом их исторического и социокультурного контекста. В статье уделяется внимание уникальности архитектурных деталей, использованию дерева, изучается влияние природно-климатических условий на формирование этих домов. *Цель работы*. Основываясь на архитектурных, планировочных и конструктивных особенностях этих домов, статья стремится выявить влияние исторических, социокультурных и природных факторов на формирование архитектурных традиций в жилом строительстве этого региона. *Задачами исследования является* рассмотрение древней истории провинции Самсун, включая ее географическое расположение, природные условия и культурное наследие. Особое внимание уделяется различным типам жилых домов, включая деревенские, полугородские и усадебно-дворцовые дома, которые отражают социальные различия и сословное разделение общества. Исследование позволяет более глубоко понять историческую и культурную значимость жилого строительства в этом регионе. *Результаты.* Выявлено несколько типов жилых домов, характерных для прибрежной зоны города Самсун в северных провинциях Турции. Архитектурные решения в этих домах отражают разнообразие исторических, социальных и культурных факторов, включая природно-климатические факторы, социальный статус населения и торгово-прикладные промыслы.
Выводы. Авторами предоставлен сводный обзор характерных черт типологии исторических жилых домов Самсуна, раскрывая воздействие исторических, социокультурных и природных факторов на процесс их становления. Исследование имеет значение для понимания архитектурного наследия и культурной идентичности данного региона Турции.

Ключевые слова: природные факторы, прибрежная зона, жилые дома, Самсун, художественно-декоративное оформление, торговые связи

Для цитирования: Байрам Бекир М. Типологические особенности исторических жилых домов города Самсун: архитектурное, историческое и культурное значение // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.85-95, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_85, EDN: HAHFUK

Typological features of historical residential buildings of the city of Samsun: architectural, historical and cultural significance

Bayram Bekir M.[1]
[1]Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

Abstract: *Problem statement.* This article explores typological examples of historical residential buildings located in the coastal zone of the city of Samsun in the northern provinces of Turkey. The study is based on the architectural, planning, and design characteristics of these houses, considering their historical and socio-cultural context. The article highlights the unique architectural details, the use of wood material, and the influence of natural and climatic conditions on the formation of these houses. *The purpose of the work.* Based on the architectural, planning, and design features of these houses, the article aims to identify the influence of historical, sociocultural, and natural factors on the formation of architectural traditions in the residential construction of this region. *The objectives of the study are* reviewing the ancient history of Samsun Province, including its geographical location, population, natural conditions, and cultural heritage. Special attention is given to various types of residential buildings, such as village, semi-urban, and manor-palace houses, which reflect social differences and class divisions within society. The study allows for a deeper understanding of the historical and cultural significance of residential construction in this region.
Results. The study identified several types of residential buildings typical of the coastal area of the city of Samsun in the northern provinces of Turkey. The architectural solutions in these houses reflect the variety of historical, social, and cultural factors, including natural and climatic conditions, the social status of the population, and trade and applied crafts.
Conclusions. Overall, the article provides an overview of the typological features of the historical residential buildings in the city of Samsun, tracing the influence of historical, sociocultural, and natural factors on their formation. The study is important for understanding the architectural heritage and cultural identity of this region of Turkey.

Keywords: natural factors, coastal zone, residential buildings, Samsun, artistic and decorative design, trade relations

For citation: Bayram Bekir M. Typological features of historical residential buildings of the city of Samsun: architectural, historical and cultural significance // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.85-95, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_85, EDN: HAHFUK

1. Введение

Город Самсун имеет историю, уходящую корнями в глубокую древность. Он служил важным портом и торговым центром на берегу Черного моря. Сегодня Самсун является современным городом с развитой туристической инфраструктурой, предлагающим посетителям как исторические достопримечательности, так и природные красоты. Автор дает обобщенную характеристику различных типов жилых домов, включая деревенские дома, городские дома и усадьбы-дворцы, которые отражают различия в социальном статусе населения и сословном разделении общества [1]. В статье подчеркивается, что формирование архитектурных традиций жилых домов [2] зависит от природных факторов, уровня развития общества и экономических особенностей региона. В ходе исследования особое внимание уделяется разнообразию и уникальности архитектурных элементов, функциональному назначению жилых помещений и деталям оформления фасадов. Значимым аспектом, поднимаемым в статье, является роль деревянных материалов в создании жилых домов и их воздействие на художественное и декоративное оформление. Также статья предоставляет сведения о туристическом потенциале города Самсун, его исторических достопримечательностях, естественной красоте и инфраструктуре развлечений [3]. Дополнительно, статья подчеркивает значимость влияния торгово-прикладных ремесел на жилищное строительство в этом регионе [4-6].

В данной статье мы сосредоточимся на типологических особенностях исторических жилых домов города Самсун и их архитектурном, историческом и культурном значении. Рассматриваются исторические факторы, природные условия и общественно-экономические характеристики региона как основополагающие факторы формирования архитектурных традиций жилых домов [3,7]. Исследование позволит более полно понять значение и уникальность жилых домов города Самсун, а также способствовать сохранению и презервации их исторического наследия, развитию туризма и осознанию регионального контекста.

Главной целью данного исследования является обзор особенностей типологии исторических жилых домов города Самсун чтобы выявить и раскрыть их архитектурную, историческую и культурную значимость.

Для достижения поставленной цели можно сформулировать следующие задачи:

- Изучение истории города Самсун и его роли в качестве важного порта и торгового центра на побережье Черного моря. Анализ современного состояния города, его туристической инфраструктуры, исторических достопримечательностей и природных красот.
- Выявление уникальных архитектурных элементов, функционального назначения жилых помещений и деталей оформления фасадов исторических жилых домов города Самсун.
- Исследование роли деревянного материала в строительстве жилых домов и его влияния на художественно-декоративное оформление.
- Предоставление информации о туристическом потенциале города Самсун, его исторических достопримечательностях, природных красотах и развлекательной инфраструктуре.
- Рассмотрение влияния торгово-промышленных отраслей на жилищное строительство в регионе.

2. Материалы и методы

Методология предлагает систематический подход к изучению и анализу исторических жилых домов города Самсун, основываясь на источниках, классификации, анализе влияния факторов и обобщении результатов исследования. Представлен обзор типологических особенностей жилых домов, а также их архитектурного, исторического и культурного значения в контексте города Самсун. В целом, методы исследования для данной статьи включают исторический, территориальный, архитектурный, социокультурный, сравнительный и туристический анализы. Эти подходы позволяют рассмотреть различные аспекты жилого строительства, архитектурные особенности и культурное значение исторических жилых домов в городе Самсун [8]. Тем не менее, можно отметить, что в статье также рассматриваются исторические, природно-климатические и архитектурные аспекты города, а также предоставляется информация о туристических достопримечательностях и разнообразных типах жилых домов.

3. Результаты и анализ

Систематические показатели возникновения жилых построек в северных провинциях Турции в основном начинаются с XVIII века. Хотя об этих постройках известно немного, более рациональные планировочные, конструктивные и композиционные приемы, формировавшиеся в течение длительного времени, нашли отражение в этих примерах, основанных на народных жизненных традициях. Исходя из данных, можно рассматривать определенные подходы как традиционные в истории жилых домов, разрабатываемые на протяжении многих веков. В этом смысле, безусловно, важна роль природно-климатических условий, уровня развития общества и социально-экономических характеристик [9]. Однако, поскольку уровень развития и природные факторы каждого региона и района страны различны, они отражают свои архитектурно-художественные традиции. Кроме того, торгово-прикладные промыслы провинций также оказали определенное влияние на жилищное строительство [10].

Следует отметить, что исторически в жилом строительстве было много общего, но отличия в социальном статусе населения намечали первые типы жилых домов и отличали их друг от друга. То есть, помимо обычных домов деревенского типа, также существовали жилые дома полугородского типа и усадебно-дворцового типа. Это основывалось на формах сословного разделения, возникшего в городах и деревнях Турции (рис.1). Например, в городах появились дома с двумя рядами комнат, что было более характерно для XVIII и XIX веков. Таким образом, предпосылки для появления и развития исторических жилых домов в городе Самсун включают древнюю историю, роль города как порта и торгового центра, природные условия, социальное разделение, влияние торгово-прикладных промыслов и современный туристический потенциал.

Рис.1. Карта города Самсун (Источник: https://www.istanbul-city-guide.com/map/turkey/samsun-map.asp)
Fig.1. Map of city of Samsun (Source: https://www.istanbul-city-guide.com/map/turkey/samsun-map.asp)

В статье рассматриваются типологические примеры исторических жилых домов, расположенных преимущественно в прибрежной зоне города Самсун. Прежде всего необходимо рассмотреть древнюю историю этой провинции, которая является главным фактором в формировании образа жизни людей и является важным аспектом исследования. Самсун является административным центром на севере Турции, расположенным на берегу Черного моря и реки Гызылырмак [5]. Его площадь составляет 1000 км^2, а население превышает 550 тысяч человек. Город привлекает много туристов благодаря своей древней истории, основанной задолго до нашей эры, а также благодаря своим памятникам с богатым культурным наследием. Здесь можно найти старинные дома, храмы и музеи [11]. Кроме того, природные условия в Самсуне также являются очень благоприятными. Здесь прекрасные виды на горы, зеленые пастбища, которые гармонично сочетаются с окружающей природой [12].

В то же время город является важным центром табачной промышленности, а также известен своим текстилем, хлопчатобумажной одеждой и палаццо. Благодаря этому Самсун привлекает посетителей круглый год. Здесь есть пляжи, горячие термальные источники, горнолыжные трассы и возможности для горных видов спорта зимой.

Основание этого города было заложено древними греками в IV веке до н.э. и его название было Амисис [13]. Местоположение города было выбрано в очень благоприятной провинции, и поэтому здесь проходила главная торговая дорога в стране. Впоследствии город вошел в состав Византийской империи и стал важным портом армениакской провинции. В 1204 году он стал вторым по значимости городом

Трапезундской империи, пережил многочисленные войны и окончательно стал частью современной Турции в XIV веке. В 1919 году город Самсун стал местом, где Мустафа Кемаль Ататюрк основал освободительное движение. Сегодня это современный город, протянувшийся вдоль побережья на протяжении около 30 км. В 2017 году в выставочном центре "Баку Экспо" были представлены чертежи отелей города, а также информация о ресторанах и супермаркетах, которые играют особую роль в развлекательной инфраструктуре [14].

Так как город расположен рядом с портом, туристы могут арендовать небольшие лодки, а доступные отели в Аландаме и Лакенде, которые находятся в 75 километрах от города, предлагают возможность отдохнуть. Чамская роза и побережье Бафра также славятся своей красотой. Поселок Атакум, находящийся в 5 километрах от города, также является популярным местом для отдыха и имеет историческое значение. Сегодня международные авиалинии связывают Самсун с другими городами Турции.

Предпосылки, описанные выше, оказали значительное влияние на типологические особенности исторических жилых домов города Самсун:

- Благоприятное местоположение города Самсун на побережье Черного моря и его историческая роль как важного порта и торгового центра способствовали разнообразию архитектурных стилей и функций жилых домов. Возможно, наличие различных типов домов – от простых деревенских до более роскошных усадебных – соответствовало потребностям разных социальных слоев, связанных с торговлей и портом.

- Красивые природные пейзажи и окружающая природа могли вдохновить архитектурные решения жилых домов. Вероятно, важность природных условий и видов могла повлиять на расположение окон, веранд и других архитектурных деталей в домах, чтобы наилучшим образом использовать окружающую красоту.

- Социальное разделение, характерное для города Самсун, вероятно, отразилось на типологических особенностях домов. Различные типы жилых домов (деревенские, городские, усадебные) могли быть результатом социальных структур и статуса населения. Например, усадебные дома могли принадлежать высшему классу.

- Важность торгово-промышленных отраслей в городе могла повлиять на архитектурные решения домов. Вероятно, некоторые дома были спроектированы с учетом потребностей торговли и промышленности, например, для обеспечения удобных мест для работы и хранения товаров.

- Присутствие исторических достопримечательностей, музеев и других культурных объектов привлекало туристов. Вероятно, это могло повлиять на сохранение и реставрацию исторических домов, а также на создание инфраструктуры для размещения туристов.

- Сохранение и презервация исторического наследия становятся важным аспектом, особенно в современной эпохе. Возможно, это повлияло на сохранение и восстановление архитектурных особенностей и деталей исторических домов.

Таким образом, древняя история, роль как торгового центра и порта, природные условия, социальное разделение, развитие торгово-промышленных отраслей, развитие туризма и сохранение культурного наследия совместно способствовали формированию типологических особенностей исторических жилых домов города Самсун.

Что делает Самсун известным, так это пещера Таккарги, руины Икизтепе, археологический парк Тумулус-Барийхана, который находится в Синопе, а также побережье Пафларон [14]. Среди древних памятников, привлекающих туристов, можно выделить:

1. Руины городища на Дюндар Тепе.
2. Археологический музей.
3. Музей Ататюрка.
4. Статуя Ататюрка, выполненная австрийским скульптором, и парк.
5. Гарадевиз и водопад Бафра Акан.
6. Музей, расположенный в историческом гостиничном комплексе на улице Истикляль.
7. Руины кургана Оймааган Хоюк.
8. Корабль-музей в Бандырме.

9. Старинные постройки, расположенные на улицах города.
10. Мечеть Шади Бей, относящаяся к XVI веку.
11. Пещера Теккеркой и остатки Икизтепе.
12. Мечети Беюк Джами, Ашагы Сейлютлю, Эргун Паша и Шейха Сеида, и другие.

Климат провинции Самсун субтропический, характеризующийся небольшим количеством осадков, поэтому туристы могут посещать старинные жилые и культовые сооружения, а также пещеры в любое время года.

Вышеперечисленные характеристики, основанные на исторических событиях и природно-климатических условиях каждой провинции, позволяют отметить следующие типы жилых домов:

– Дома типа АНТ с глухими боковыми стенами и глубоким крыльцом перед основным помещением.
– Присутствие купольных элементов на части крыши жилого дома, особенно заметных в случае сложной планировки, определяющих архитектурный облик и конструкцию стен здания.
– Наличие односторонних комнат в доминирующем положении, направленных на берег.
– Жилые дома с двухсторонними комнатами, обладающими видом на море.

Таким образом, в перечисленных типах домов проявляются различные архитектурные характеристики. В одном типе акцент делается на планировочное решение жилых комнат, в другом важным является сочетание жилых и хозяйственных помещений, а в некоторых случаях архитектурные особенности определяются дачными участками.

Следует отметить, что так как Самсун расположен вдоль побережья, каждый исторический дом, особенно деревянные, имеет свои архитектурные элементы, где важным фактором является роль каждого деревянного элемента, такого как окна, двери, колонны, крыша и другие [15].

Также следует отметить, что хотя дерево было основным материалом для исторических жилых домов, их корпусные и цокольные части, безусловно, были выполнены из камня (например, из идольского щебня) (рис.2).

Рис. 2. Традиционные исторические дома Самсуна (Источник: https://ru.pinterest.com/pin/572801646337008306/?amp_client_id=CLIENT_ID%28_%29&mweb_unauth_id=&simplified=true)

Fig. 2. Traditional historical houses of Samsun (Source: https://ru.pinterest.com/pin/572801646337008306/?amp_client_id=CLIENT_ID%28_%29&mweb_unauth_id=&simplified=true)

Таким образом, можно описать несколько типов исторической жилой застройки, расположенной в прибрежной зоне.

Архитектурное решение в многоквартирных жилых домах города Самсун отличается своим разнообразием. Влияние исторической сущности города и его торговых связей с другими странами Ближнего Востока привело к особенностям городских домов, таким как использование деревянных материалов, их сочетание с другими материалами, связь балконов и жилых комнат, а также взаимосвязь домов и дворов с морским побережьем [16].

В истории города Самсун были определены основные типы жилых домов на основе устойчивых приемов, объемно-планировочных решений, композиционных структур и оформления интерьеров. Тип двухэтажного деревянного дома с арочным балконом и Г-образным планом, ограниченным стенами с двух сторон, имеет ограниченное распространение и представляет собой историческую особенность. Такие примеры можно найти и в других регионах Турции. На обоих этажах, в верхней части фасада, обращенного ко двору, находятся хозяйственные постройки, зимняя кухня и тандыр. Однако не все эти типы домов сохранились до сегодняшнего дня, и некоторые из них выглядят как руины. Восстановление таких домов стало сложным и тщательным аналитическим процессом. Некоторые исторические дома имели большие резные витражи на первом этаже фасада, обращенного ко двору, что свидетельствует о возможности наличия конструктивно-каркасной системы. Несмотря на близость жилых домов к морскому берегу, их длина может быть разделена на две части, когда они строятся поперек рельефа местности. Таким образом, социально-бытовые традиции этой прибрежной зоны оказали влияние на архитектурный облик жилых домов под воздействием естественных факторов.

Следует подчеркнуть, что в данном контексте архитектурные детали были представлены в более выразительных формах с использованием деревянных материалов, таких как оконные рамы, декоративные элементы вокруг входных дверей, а также карнизы под навесами и другие детали. Особое значение в то время придавалось открытым одно- или двухрядным полузакрытым балконам, которые обязательно изготавливались из дерева. Следует отметить, что несмотря на это, внешний вид домов имел разнообразие форм. Иногда эти арочные балконы также встречались на фасадах, что придавало домам некоторое сходство с дворцами Турции.

В некоторых городских домах балконы на фасадах заменялись верандами. В другом примере, при строительстве двухэтажного жилого дома для двух поколений, было предложено новое композиционное решение фасада. Фасад был разделен на две независимые части, чтобы равномерно распределить нагрузку крыши через одинаково расположенные опоры. Архитектурный облик и планировка этих домов также предусматривали наличие широких арочных витражей или резьбы на первых этажах, особенно в тех случаях, когда окна выходили на торговые улицы. Поскольку большинство первых этажей использовалось в качестве мастерских, лавок и складов, эти элементы добавляли красоты и практичности. Таким образом, в домах такого типа отражалось мастерство местных ремесленников, которые мудро использовали окружающие условия[4].

Во многих двухэтажных особняках, расположенных в центре города, три из четырех комнат на втором этаже имели балконы на задней стене, а четвертая комната представляла собой своего рода зал с собственным эркером, что придавало главному фасаду особую выразительность. Стоит отметить, что хотя фасад не был симметричным, простой вход в этот зал стал символом гармонии и равновесия. Деревянная лестница на боковой стороне здания и балкон на втором этаже, окружающий его с двух сторон, придавали жилищу легкость и изящество. Таким образом, в домах такого типа было четко определено функциональное назначение жилых помещений, учитывая также прочие помещения вокруг жилой комнаты и спальные помещения. Близость качественного строительного материала придавала историческим домам города Самсун особую уникальность в плане строительства и художественно-декоративного оформления. Все эти факторы влияли на объемно-пространственную, архитектурно-планировочную и композиционную структуру жилых домов города Самсун, созданных в

этом приморском районе, а также придавали особенный характер их внутреннему оформлению.

Город Самсун имеет богатую историю и является важным портом и торговым центром на берегу Черного моря [17].

Сегодня Самсун является современным городом с развитой туристической инфраструктурой, предлагающим посетителям как исторические достопримечательности, так и природные красоты

В городе Самсун существуют различные типы жилых домов, включая деревенские дома, городские дома и усадьбы-дворцы, отражающие различия в социальном статусе населения и сословном разделении общества. Природные факторы, уровень развития общества и экономические особенности региона оказывают влияние на архитектурные традиции жилых домов в Самсуне. Важную роль в архитектуре жилых домов играет деревянный материал, который используется как в конструкции, так и в декоративном оформлении. В статье приводится информация о потенциале для туризма в Самсуне, его исторических местах, природных прелестях и возможностях развлечений. Исследование подчеркивает уникальность и разнообразие архитектурных элементов жилых домов, их функциональное назначение и детали оформления фасадов. Результаты исследования помогают представить обзор типологических особенностей исторических жилых домов города Самсун и их архитектурного, исторического и культурного значения [18]. Представленные результаты могут быть связаны с архитектурной типологией и характеристиками города Самсун следующим образом:

- Город Самсун имеет богатую историю, относящуюся к древним временам, что влияет на архитектурный облик города. Это видно в уникальных домах с Г-образным планом и арочными балконами, которые являются исторической особенностью города.
- Самсун является важным центром промышленности, включая табачную и текстильную. Это экономическое влияние может быть отражено в архитектуре, создавая привлекательную среду для посетителей и местных жителей.
- Город обладает благоприятными природными условиями, включая великолепные виды и зеленые пастбища. Эти элементы могут быть вплетены в архитектуру, создавая гармоничное взаимодействие между зданиями и окружающей природой.
- Дома в городе Самсун имеют разнообразные архитектурные элементы, такие как резные витражи, декоративные балконы и оконные рамы. Эти детали могут быть рассмотрены в контексте архитектурной типологии и стилей.
- Некоторые исторические дома являются руинами и требуют тщательного аналитического процесса для восстановления. Это подчеркивает важность сохранения исторического архитектурного наследия и его интеграции в современную среду.
- Дома содержат мастерские, лавки и склады на первом этаже, что дополняет их архитектурную привлекательность и обеспечивает практичность для местных жителей.
- Близость морского берега и социальные традиции прибрежной зоны оказывают влияние на архитектурный стиль жилых домов, что может быть рассмотрено как особенность адаптации зданий к окружающему пространству.
- Использование качественных деревянных материалов придает домам уникальность и особый характер в строительстве и декоративном оформлении, что может быть интерпретировано в контексте архитектурных стилей и традиций.

Таким образом, архитектурная типология и стили города Самсун могут быть рассмотрены через призму его исторической, экономической, природной и социокультурной специфики.

Рис.3. Витрины древней деревянной мечети. Турецкая мастерская, построенная без единого гвоздя в 1206 году, мечеть Гогчели на севере Турции до сих пор служит местной общине из 300 человек (Источник: https://en.shafaqna.com/240936/earthquake-resistance-wooden-mosque-in-turkey/)
Fig.3. Ancient wooden mosque showcases. Turkish craftsmanship built without a single nail in 1206, northern Turkey's Gogceli Mosque still serves local community of 300 (Source: https://en.shafaqna.com/240936/earthquake-resistance-wooden-mosque-in-turkey/)

Таким образом, исследование подчеркивает значимость устойчивых приемов, архитектурных деталей и функциональности в архитектуре жилых домов города Самсун, а также влияние местных условий и традиций на их облик [19-20].

Анализ исследования указывает на значимость устойчивых приемов, архитектурных деталей и функциональности в архитектуре жилых домов Самсуна, а также на влияние местных традиций, природных факторов и доступных материалов на их облик и характер.

4. Заключение

В статье были рассмотрены типологические особенности исторических жилых домов города Самсун, а также их архитектурное, историческое и культурное значение. Было проведено исследование истории города Самсун как важного портового центра на берегу Черного моря, а также изучено современное состояние города, его туристическая инфраструктура, исторические достопримечательности и природные красоты. Проанализированы различные типы жилых домов, такие как деревенские дома, городские дома и усадьбы-дворцы, их классификация основывалась на социальном статусе населения и сословном разделении общества.

Исследование также выявило уникальные архитектурные элементы, функциональное назначение жилых помещений и детали оформления фасадов исторических жилых домов города Самсун. Было акцентировано внимание на роли деревянного материала в строительстве жилых домов и его влияние на художественно-декоративное оформление.

Статья предоставляет информацию о туристическом потенциале города Самсун, его исторических достопримечательностях, природных красотах и развлекательной инфраструктуре. Также было рассмотрено влияние торгово-промышленных отраслей на жилищное строительство в регионе.

В результате исследования было показано, что исторические факторы, природные условия и общественно-экономические характеристики региона играют важную роль в формировании архитектурных традиций жилых домов города Самсун. Полученные результаты помогут лучше понять значение и уникальность жилых домов города Самсун, а также способствовать сохранению и презервации их исторического наследия, развитию туризма и осознанию регионального контекста.

Итак, данное исследование дает полный обзор типологических особенностей исторических жилых домов города Самсун, раскрывает их архитектурное, историческое и культурное значение, а также способствует более глубокому пониманию регионального контекста.

Список литературы/References

1. Shenol E. Spatial segregation in metropol districts of Samsun province according to demographic and cultural characteristics // International Journal of Geography and Geography Education (IGGE). 2020. Vol. 41. P. 177-198.
2. Gul S. Gumuşhane residents living in Samsun in the context of migration and cultural integration // Studies of The Ottoman Domain. 2018. Vol. 8(14). P. 195-217.
3. Gul S., Yılmaz A. Determining recreation potential of coastal band of Samsun city according to Gulez's the assessment of open-air recreational potential method // Turkish Journal of Geographical Sciences. 2020. Vol.17(2). P. 318-344.
4. Yilmaz A. New development areas of Samsun city // Turkish geography journal. 2004. Vol. 42. P. 59-72.
5. Akinchi H., Doan S., Kilicholu C., Temiz M. Serhan Production of landslide susceptibility map of Samsun (Turkey). City Center by using frequency ratio method // International Journal of the Physical Sciences. 2011. Vol. 6. Iss.5. P. 1015-1025.
6. Goney S. City Geography II Mehmet Bayartan. İstanbul: Beta Basım. 2017.
7. Erol D., Kochak, E. From urban poverty to spatial segregation, from urban transformation to gentrification: Ankara Gultepe district example: International Conference on Multidisciplinary Sciences (ICOMUS). İstanbul, 2018. P. 1-17.
8. Bayram M. Samsun - the city of ancient history and modernity of Turkey //Vestnik KazGASA (Kazakh Leading Architectural Academy). 2018. Vol.3. Iss. 69. P.78-85.
9. Tellioglu I. Historical period of Turkish settlement in Samsun // Turkish studies - International Periodical for The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic. 2014. Vol. 9. Iss. 4. P. 1107-1117.
10. Gunesh S., Efe B. Temporal Analysis of Heat Waves and Cold Waves for Samsun Province // Journal of Natural Hazards and Environment 2022. Vol. 8(2). P. 359-367.
11. Akengin H. Changing the Influence Areas of Cities According to Transportation Systems: Samsun Example. Samsun: Samsun Metropolitan Municipality Department of Culture and Social Affairs Publications, 2013. P. 447-462.
12. Yilmaz A., Gul S. Historical Heritage and Urban Conservation in Samsun City // Journal of Ottoman Legacy Studies (OMAD). 2018. Vol. 5. Iss. 13. P.49-67. DOI: 10.17822/omad.2018.110
13. Atasoy S. An Ancient City on the Black Sea Coast of Amisos. Samsun: Samoto OTO Publication, 1997. P. 132.
14. Akyol C. The contribution of museums and ruins to provincial tourism around Samsun: Proceeding of Samsun Symposium / Samsun, 2011.
15. Bayraktar M.S. Development of Turkish Architecture in Samsun. From the Past to the Future. In C. Yılmaz (Ed.). Samsun. 2006. P. 399-426.
16. Penez B., Gumush M.M., Shengul E., Nurdag S., Soyleyiji V. Our city Samsun. The text content of the first 2 (two) units of this material was prepared by the commission formed by the General Directorate of Basic Education. 2019. P. 152.
17. Ipek N., Yilmaz C. From the Past to the Future, Samsun Album – I (Ottoman Period) // Samsun Metropolitan Municipality Cultural Publications. 2009. Iss.10.
18. Uzun A. Coastal Management in Samsun // Turkish Geographical Magazine. Vol. 35. P. 51-68
19. Ipek N. Exchange and Samsun. Ankara: Turkish Historical Society Publications. 2000.
20. Khanifa G. Nadyrova and Dilyara A. Nadyrova. Identity of the architecture of mosques in Russia in the late XX-early XXI century (as exemplified by Tatarstan) // 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 890 012023. DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012023

Информация об авторах

Мустафа Байрам Бекир, докторант, Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет, г.Баку, Азербайджан
E-mail: mustafabayram01@hotmail.com

Information about the authors

Mustafa Bayram Bekir, phd, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan
E-mail: mustafabayram01@hotmail.com

УДК: 72.03
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_96
EDN: HKFLOE

Фасады исторических зданий с каменной кладкой: обзор методов и способов реставрации

А.Г. Хабибулина[1], А.М. Сулейманов[12], Р.Н. Бабенко[3]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
[3]ООО «Баумит», г. Дубна, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Актуальность исследования обусловлена тем, что каменные строительные конструкции, присутствующие в исторических памятниках, представляют собой один из фундаментальных элементов архитектурных зданий и сооружений. Эти объекты часто являются уникальными памятниками архитектуры и культурного наследия, отражающими исторические периоды и технологии прошлых эпох. Целью исследования является анализ современных методов и способов реставрации каменной кладки, их сравнение и оценка, а также определение оптимальных решений для восстановления и сохранения облика исторических зданий. Задачами исследования являются: обзор современных методов и способов восстановления фасадов исторических каменных зданий, включая анализ существующих подходов к реставрации и оценку их эффективности; анализ наиболее известных методов и способов реставрации с учетом физико-механических характеристик рассматриваемых типов строительных материалов; предложение рекомендаций по защите и реставрации поврежденных каменных фасадов объектов культурного наследия, с учетом действующих нормативных требований и стандартов.
Результат. Основным результатом исследования является, разработка комплексного подхода к восстановлению и реставрации поврежденных фасадов исторических каменных зданий.
Выводы. Значимость полученных результатов для архитекторов и проектировщиков состоит в том, что они предоставляют конкретные и научно обоснованные рекомендации, которые помогут сохранить и восстановить исторические каменные здания с учетом их уникальных характеристик и соблюдением современных стандартов устойчивости и долговечности.

Ключевые слова: реставрация фасадов исторических каменных зданий, методы и способы реставрации, сохранение объектов культурного наследия

Для цитирования: Хабибулина А.Г., Сулейманов А.М., Бабенко Р.Н. Фасады исторических зданий с каменной кладкой: обзор методов и способов реставрации // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 96-108, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_96, EDN: HKFLOE

Facades of historic stone masonry buildings: a review of restoration methods and techniques

A.G. Khabibulina[1], A.M. Suleymanov[12], R.N. Babenko[3]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
[3]LLC «Baumit», Dubna, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* The relevance of the study is due to the fact that stone building structures in historical places represent one of the fundamental elements of architectural buildings and structures. These objects are often unique monuments of architecture and cultural heritage, reflecting historical periods and technologies of past eras. The aim of the study is to analyze modern methods and techniques of masonry restoration, compare and evaluate them, and identify optimal solutions for restoring and preserving the appearance of historic buildings. The objectives of the study are to review modern methods and techniques of restoration of the facades of historic masonry buildings, including analysis of existing restoration approaches and assessment of their effectiveness; to analyze the best known restoration methods and techniques, taking into account the physical and mechanical characteristics of the considered types of building materials; to propose recommendations for the protection and restoration of damaged masonry facades of cultural heritage objects, taking into account the current regulatory requirements and standards.
Results. The main result of the study is the development of an integrated approach to the restoration and rehabilitation of damaged facades of historic stone buildings.
Conclusions. The significance of the findings for architects and project designers is that they provide specific and science-based recommendations that will help preserve and restore historic masonry buildings while respecting their unique characteristics and meeting modern standards of sustainability and durability.

Keywords: restoration of facades of historic stone buildings, restoration methods and techniques, preservation of cultural heritage objects

For citation: Khabibulina A.G., Suleymanov A.M., Babenko R.N. Facades of historic stone masonry buildings: a review of restoration methods and techniques // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 96-108, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_96, EDN: HKFLOE

1. Введение

Каменные фасады исторических зданий являются важной составляющей городского ландшафта и представляют собой уникальный архитектурный облик, который формирует идентичность городов и стран. Наиболее распространенные строительные материалы, использовавшиеся для создания фасадной части значимых исторических зданий, включают природный камень и кирпич. В качестве облицовки также могли использовать декоративную керамическую плитку и штукатурный слой [1-3]. Конкретный выбор материала зависел от многих факторов, включая доступность ресурсов, климатические условия и технологические возможности того времени. С течением времени, воздействие атмосферных явлений, антропогенных факторов и других причин приводит к разрушению каменной или штукатурной отделки и утрате ее первоначального вида [4-6]. В результате возникает необходимость в проведении реставрационных и консервационных работ, направленных на восстановление и сохранение облика исторических памятников архитектуры [7].

В данной статье представлен обзор методов и способов реставрации фасадов исторических зданий с каменной кладкой. В настоящее время существует множество методов работы с каменной кладкой, таких как консервация, ремонт, реконструкция и

восстановление[1]. Выбор метода зависит от состояния здания, характера дефектов и требований к его будущему использованию. Важной составляющей реставрации фасадов с каменной кладкой является оценка прочности и долговечности материалов. В рамках данной статьи рассмотрены вопросы, связанные с характеристиками и свойствами каменных материалов, а также методами и способами их восстановления.

Один из основных принципов реставрации заключается в сохранении оригинальных элементов фасада. Это может включать в себя консервацию каменной кладки путем удаления загрязнений и восстановления разрушенных элементов, а также ремонт трещин и сколов. Для восстановления утраченных элементов могут использоваться современные материалы, имитирующие внешний вид и свойства исторической каменной кладки [8, 9].

В статье рассматривается вопрос выбора материалов для реставрации, включая различные виды камня, растворы и лакокрасочные материалы. Особый акцент делается на внедрении инновационных технологий и материалов в реставрационный процесс. При реставрации каменной кладки необходимо учитывать специфические особенности растворных смесей. Важно подбирать растворы, максимально приближенные к историческим образцам, чтобы достичь прочной связи между современным и исходными растворами. Учет особенностей материалов и их взаимодействия друг с другом является ключевым фактором, обеспечивающим долговечность и надежность реставрации [10-12].

Каждый проект реставрации исторических фасадов уникален, соответственно методы и способы будут различаться в зависимости от состояния здания, его истории и оригинальных строительных материалов. Важно учесть, что восстановление исторических фасадов требует тщательного исследования и сохранения архитектурной значимости здания.

Целью данного исследования является анализ современных методов реставрации каменной кладки, их сравнение и оценка, а также определение оптимальных решений для восстановления и сохранения облика исторических зданий.

Задачи исследования включают в себя:

- обзор современных методов и способов восстановления фасадов исторических каменных зданий, включая анализ существующих подходов к реставрации и оценку их эффективности;
- анализ наиболее известных методов и способов реставрации с учетом физико-механических характеристик рассматриваемых типов строительных материалов;
- предложение рекомендаций по защите и реставрации поврежденных каменных фасадов объектов культурного наследия (ОКН), с учетом действующих нормативных требований и стандартов.

2. Материалы и методы

В соответствии с законодательством Российской Федерации о сохранении памятников каменного зодчества, работы по их сохранению могут проводиться только на основании задания и разрешения, выдаваемых органом охраны ОКН. Для проведения таких работ необходимо наличие научно-проектной документации, которая должна быть согласована соответствующими государственными организациями охраны культурного наследия. Также обязательным условием является наличие технического и авторского надзора, а также государственного надзора за проведением этих работ. Состав и содержание проектной документации для работ по сохранению ОКН определяются специальным заданием и соответствующим стандартом (ГОСТ Р 55528)[2]. Для проведения работ по сохранению ОКН требуется участие аттестованных физических и юридических лиц, обладающих соответствующей лицензией и опытом работы на подобных объектах.

[1] ГОСТ Р 59437-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Сохранение памятников каменного зодчества. Общие требования.

[2] Федеральный закон от 25.06.2002 N 73-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023). ГОСТ Р 55528-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Состав и содержание научно-проектной документации по сохранению объектов культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 28.08.2013 N 593-ст).

Специалисты, такие как каменщики и отделочники (штукатуры, маляры), должны иметь высокий квалификационный уровень. Для защиты подлинных конструкций и элементов ОКН при проведении работ необходимо устанавливать временные крепления и защитные конструкции. Эти меры способствуют сохранению архитектурных ценностей и предотвращению повреждений в процессе работ. Для обеспечения нужных условий в ОКН с уникальной декоративной отделкой или процессами, требующими определенных температурных значений, устанавливается внешний тепловой контур. При выполнении работ по сохранению таких объектов следует ограничивать применение современных строительных технологий и разрешать их только после соответствующего обоснования и согласования проектной документации в соответствии с законодательством. Приоритетом при выполнении работ по сохранению ОКН является сохранение подлинных фрагментов и элементов памятника.

Восстановление фасадов исторических зданий с каменной кладкой – это сложный и многозадачный процесс, который требует специализированных знаний и навыков. Ниже приведены некоторые из наиболее известных и признанных методов и способов восстановления фасадов исторических зданий с каменной кладкой.

Подходы усиления и восстановления каменной кладки подбираются на основе результатов технического обследования архитектурного памятника с учетом возможного развития деформаций и других дефектов в кладке. Эти деформации могут быть вызваны различными факторами, включая неравномерные осадки фундаментов, неравномерные деформации участков стен с различными уровнями нагрузки и другие подобные факторы. Однако, также следует учитывать долгосрочные циклические температурно-влажностные деформации. Для повышения надежности каменных конструкций стен необходимо осуществлять обоснованный выбор того или иного метода усиления кладки. Способами усиления могут быть устройство косвенного армирования, использование обойм, сердечников, инъекции и другие технические решения [13, 14]. При реставрации кирпичной кладки предпочтительно использовать консервативные методы, такие как докомпоновка, вычинка и инъекционное укрепление, которые направлены на сохранение структуры и внешнего вида кладки. Введение усиливающих элементов, таких как железобетонные, стальные или композитные, следует осуществлять только при строгом обосновании и в соответствии с индивидуально разработанными техническими и технологическими решениями. Приоритетом является использование типоразмеров кирпича, соответствующих исторически примененным на данном объекте, для сохранения традиционной разверстовки кладки и обеспечения эстетических и технических качеств восстановленной кладки. Сохранение оригинального массива кирпичной кладки признается приоритетом при сохранении памятников каменного зодчества, так как это содействует сохранности материальной структуры ОКН и эффективности мероприятий по его сохранению [15, 16].

В исторических каменных зданиях и сооружениях недопустимо использование методов реставрации кладок, в которых используются цементные растворы с высоким содержанием цемента. Это обусловлено тем, что повышенная адгезия цементного раствора к основанию, его высокая прочность и низкая деформативность могут привести к образованию трещин в кладке. При проведении реставрационных работ рекомендуется использовать растворы, соответствующие технологии, характерные для данного исторического периода. Эти растворы включают в себя известь с добавками, которые определяются на основе лабораторных испытаний образцов, взятых с исторических каменных кладок. Кладочный раствор, предназначенный для восстановления швов, должен обладать достаточной прочностью при сжатии и достаточной пластичностью. Низкомодульные растворы характеризуются низким модулем упругости, что предотвращает разрушение лицевых слоев камней кладки при воздействии температуры и влажности. Многолетний опыт применения и научные исследования, включая сотрудничество с российскими реставраторами, установили, что наиболее подходящими материалами для реставрации исторических зданий являются те, которые используют воздушное известковое вяжущее с ограниченным добавлением гидравлического вяжущего или без него.

Штукатурная отделка является важной частью архитектурного облика ОКН и

выполняет функции как декоративного, так и защитного слоя. Полное удаление оригинального штукатурного слоя допускается только при его утрате первоначальных свойств и должно быть обосновано в проектных решениях. При реставрации ОКН основными видами штукатурных работ являются: консервация, ремонт, реставрация и воссоздание штукатурки.

Окрасочные работы, проводимые на ОКН, представляют собой завершающий этап реставрационных мероприятий. Важным аспектом является соблюдение не только технологии окраски, но и правильный выбор окрасочной системы, учитывая состояние и физико-механические характеристики материалов, таких как штукатурка и кирпич, а также условия эксплуатации объектов культурного наследия. Например, на фасадах исторических зданий, построенных до первой трети XVIII века, может отсутствовать окраска, а вместо нее использоваться слой обмазки, с каждым последующим слоем содержащий меньше наполнителя. Современная окружающая среда ограничивает применение традиционных окрасочных материалов на основе извести и известково-казеинового вяжущего из-за их недолговечности. При окраске стен и декоративных элементов фасадов памятников каменного зодчества в крупных мегаполисах и промышленных городах, следует использовать окрасочные материалы, обладающие высокой атмосферостойкостью[3], что включает в себя стойкость к различным агрессивным воздействиям окружающей среды, водостойкость, светостойкость, устойчивость к солнечной радиации, ветровым и снеговым нагрузкам, морозостойкость и способность к сохранению цвета и текстуры. Для окрасочных систем на фасадах ОКН, важнейшим требованием является паропроницаемость. Сопротивление паропроницанию (S_d) должно соответствовать состоянию окрашиваемой поверхности, уменьшаясь с возрастом и износом материала. Для высококачественных окрасочных материалов с высокой паропроницаемостью[4] значение S_d должно быть менее 0,03 м, а паропроницаемость больше 680 г/м^2·сут. Важно также минимизировать водопроницаемость окрасочного покрытия, чтобы она составляла менее 0,2 кг/м^2·ч^{0,5}, с целью предотвращения излишней влаги и переувлажнения конструкции, что способствует естественной защите фасада от повреждений. Адгезионная способность окрасочного покрытия, которая определяет его защитные свойства и долговечность, должна быть высокой и не ниже прочности подложки на разрыв.

При работе с поверхностью каменной кладки, на которой имеются ценные декоративно-художественные отделки, такие как живопись, мозаика или лепнина, необходимо применять комплексный подход, привлекая специалистов соответствующей квалификации и используя специализированные методы, включая инженерное укрепление и консервацию.

Основная сложность заключается в поиске подходящих составов, которые позволят воссоздать первоначальный облик исторического здания. В качестве примера рассмотрим строительные смеси для реставрации, предлагаемые компанией «Баумит».

ООО «Баумит» (г. Дубна, Россия), является региональным представителем известной австрийской торговой марки Baumit Ltd. Компания Baumit специализируется на производстве высококачественных строительных систем, включая строительные смеси, грунтовки и краски, предназначены для санации и реставрации [17]. Более чем двадцать лет компания является ведущим производителем строительных материалов и имеет представительства в 27 странах Европы. В австрийском исследовательском центре Baumit - Viva Park регулярно проводятся исследования, в рамках которых совместно с ведущими независимыми научными учреждениями осуществляется разработка и проверка применения различных материалов при реставрации с последующим мониторингом текущих результатов [18].

[3] Не менее 100 циклов испытаний в климатической камере, согласно ГОСТ 9.401-2018. Межгосударственный стандарт. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов (введен в действие Приказом Росстандарта от 13.09.2018 N 603-ст).

[4] Класс V_0 согласно ГОСТ 33355-2015 (ISO 7783:2011). Межгосударственный стандарт. Материалы лакокрасочные. Определение характеристик паропроницаемости. Метод чашки (введен в действие Приказом Росстандарта от 06.07.2015 N 871-ст).

Материалы Baumit находят широкое применение при реставрации и реконструкции выдающихся исторических архитектурных сооружений как в мировом масштабе, так и в России. Примерами таких объектов включают в себя культурные и архитектурные памятники, такие как Кунсткамера и Адмиралтейство в Санкт-Петербурге, а также разнообразные комплексы, включая Казанский кремль в городе Казань. Компания Баумит осуществляет производство своих материалов на собственном заводе в городе Дубна (Московская область, Россия). Следует отметить, что материалы компании получили положительные отзывы от ведущих экспертов в области реставрации, что подтверждает их эффективность и качество.

Под надзором специалистов компании Баумит, с использованием отделочных материалов системы Baumit, были произведены реконструкции фасадов ОКН, расположенных на территории Казанского кремля (охраняемого ЮНЕСКО); Пересыльной тюрьмы в г. Казани на ул. Батурина, 7 и других.

Президентский дворец, бывший Губернаторский дворец (1848 г., проект разработал арх. Константин Тон) расположен в Казанском кремле, территория 1 (рис. 1). После натурного обследования здания в 2021 г., для проведения ремонта фасадов здания, компанией Баумит были разработаны следующие технологические рекомендации:

1. Удалить плохо держащиеся покрытия, расчистить механическим способом фасадные поверхности от налета пыли и медной патины с последующим тщательным обеспыливанием.
2. Обработать силикатной пропиточной грунтовкой Baumit SanovaPrimer участки утрат окрасочных покрытий с раскрытой впитывающей поверхностью шпаклевок и/или штукатурок.
3. В местах локальных утрат восстановить шпаклевочный слой при помощи состава Baumit GlemaBrillant.
4. Места восстановления шпаклевки и фасадные поверхности обработать проникающей силикатной грунтовкой Baumit SanovaPrimer.
5. Для перекраски стен использовать фасадную силикатную краску Baumit SanovaColor.

Рис. 1. Фотофиксация повреждений фасада Президентского дворца перед реставрацией. Казанский кремль, территория 1, 2021 г. (иллюстрация авторов).
Fig. 1. Photofixation of damage to the facade of the Presidential Palace before restoration. Kazan Kremlin, territory 1, 2021 (illustration by the authors)

Пересыльная тюрьма (построена в XVIII в.), г. Казань, на ул. Батурина, 7 (рис. 2). При ремонте фасадов здания в 2023 г., после натурного обследования здания, под надзором специалистов Баумит, были проведены следующие работы:

1. Удаление засоленной штукатурки на высоту не ниже кромки проявления сырых пятен и высолов.
2. Матирование окрасочных слоев сохраняемой штукатурки при помощи абразивов с последующим обеспыливанием верхней части цоколя.
3. Обработка кромки сохраняемой штукатурки и раскрытой кладки проникающей

грунтовкой Baumit MultiPrimer.

4. Восстановление штукатурки составом Baumit Sanova Antika. При необходимости проводилось армирование штукатурки сеткой.
5. Обустройство завыдривания в месте примыкания штукатурки к отмостке.
6. Снижение впитывающей способности и высохшей новой штукатурки при помощи обработки проникающей грунтовкой Baumit MultiPrimer (концентрат).
7. Сплошное адгезионное грунтование стен покрывной наполненной грунтовкой Baumit UniPrimer.
8. Обустройство ремонтного тонкослойного армирования, по всей плоскости цоколя, при помощи зернистой шпаклевки Baumit MultiTrass совместно с фасадной щелочестойкой сеткой Baumit StarTex 160.
9. Промежуточное подготовительное грунтование силикатной грунтовкой Baumit SanovaPrimer.
10. Окраска фасада в два слоя фасадной силикатной краской Baumit SanovaColor.
11. Заделка выдры вспененным полиэтиленовым шнуром типа Вилатерм.
12. Заделка стыка цокольной штукатурки и отмостки однокомпонентным полиуретановым герметиком или герметиком на основе MS-полимеров.

1)

2)

Рис. 2. Пересыльная тюрьма, г. Казань, ул. Батурина, 7, 2023 г.:
1) Фотофиксация повреждений фасада перед реставрацией; 2) Фотофиксация фасада после восстановительных работ перед покраской (иллюстрация авторов).
Fig. 2. Transit prison, Baturina St. 7, Kazan, 2023:
1) Photofixation of the façade damage before restoration; 2) Photofixation of the facade after restoration work before painting (illustration by the authors)

3. Результаты и обсуждение

Исследования и сохранение ОКН – это долгосрочный и непрерывный процесс, включающий изучение, мониторинг, реставрацию для обеспечения долговечности этих объектов. При выполнении работ по сохранению памятников каменного зодчества обязательно осуществляется научное руководство. В случае необходимости, оно может включать комплексные научные исследования и изменения проектных решений,

согласованных с органом охраны культурного наследия и заказчиком работ. Помимо этого, с целью предотвращения деградации ОКН, могут проводиться превентивные меры, включая консервацию, научные исследования, проектные работы и мероприятия по предотвращению аварийных ситуаций, угрожающих быстрому разрушению объекта. Важно отметить, что эти меры должны проводиться таким образом, чтобы сохранить исходный вид объекта и его историческое и культурное значение.

При выполнении работ по сохранению ОКН важно использовать традиционные строительные материалы, которые либо идентичны, либо максимально схожи с теми, что использовались при создании памятника, с учетом их эстетических, физико-механических и химических свойств. Составы строительных растворов подвергают коррекции с использованием добавок, чтобы улучшить их прочностные характеристики [19, 20]. Следует избегать полной замены поврежденных материалов, поскольку ценность ОКН заключается в их подлинности. Вместо этого, следует применять ремонт или санацию, а также современные композитные материалы для восстановления деталей и защиты поверхностей памятника от различных воздействий [21, 22].

При восстановлении деформированного исторического материала, в качестве добавок к строительным растворам, могут быть использованы полимеры и мономеры –натурального и синтетического происхождения. Они представляют собой материалы с высокой устойчивостью к условиям эксплуатации и выбираются на основе следующих критериев:

1. Долговечность: Один из ключевых факторов при выборе полимеров для реставрации. Реставрационные материалы должны иметь долговечность, близкую к ожидаемому времени существования реставрируемого объекта.

2. Адгезионные свойства: Обеспечивают прочное сцепление полимера с материалом реставрируемого объекта.

3. Растворимость: Полимеры должны быть растворимы в малотоксичных органических растворителях или воде.

4. Паро- и воздухопроницаемость: Важное свойство для обеспечения баланса влажности и защиты материала.

5. Возможность удаления: Полимеры должны быть способными к удалению из материала экспоната с использованием соответствующих растворителей, и это свойство должно сохраняться длительное время.

6. Бесцветность и прозрачность: Полимерные пленки на поверхности материала должны сохранять неизменность цвета реставрируемой поверхности.

7. Светостойкость: Важно для лаков и красок, чтобы сохранить цветовую стабильность.

8. Физико-механические свойства: Должны обеспечивать возможность создания реставрационных дополнений, склеивания фрагментов и придания необходимых прочностных характеристик поврежденным материалам.

9. Эластичность и низкие напряжения при усадке: Эластичность важна при длительной эксплуатации, а минимальные напряжения при усадке обеспечивают сохранность материала.

10. Стойкость к биоразрушителям: Материалы должны быть устойчивыми к разрушительным воздействиям биоразрушителей.

В процессе работ по сохранению ОКН требуется соблюдать общие требования к совместимости физико-механических и химических свойств реставрационных материалов с свойствами оригинальных материалов памятника. Эксплуатационные характеристики современных реставрационных материалов должны соответствовать свойствам исходных материалов. Например, паропроницаемость в системе покрытия должна соответствовать требованиям режима эксплуатации объекта в будущем.

Отделочные материалы Baumit, по результатам исследования, отлично сочетаются по своим базовым свойствам с историческими штукатурками[5]. Baumit предлагает материалы для реставрации кирпичной кладки с последующей обмазкой и защитной окраской известковыми или силикатными составами (табл. 1).

[5] Хабибулина А.Г., Иванова Е.Ю., Бабенко Р.Н., Хабибулина А.М. Внедрение в реставрационную практику отделочных материалов для создания благоприятного микроклимата на объектах историко-архитектурного наследия // Известия КГАСУ. 2022. № 4 (62). С. 190–202. DOI: 10.52409/20731523_2022_4_190.

Таблица 1

Материалы Baumit для ремонта и реставрации кирпичной кладки наружных и внутренних стен

№ п/п	Название материала	Назначение	Свойства	Состав	Технические данные
1	Baumit FungoFluid	Биоцидная обработка фасадов и стен, поврежденных грибком и плесенью.	Водный раствор с широким спектром действия против микроорганизмов, таких как грибок и плесень. Помимо уничтожения и уменьшения развития, грибок обесцвечивается.	Вода, альгицидные (убивающие водоросли) и фунгицидные (убивающие грибок) вещества (четвертичные соединения аммония, изотиазол-производные).	Плотность: ~1,00 кг/дм^3 Расход материала: 50-100 г/м^2 при умеренной впитывающей способности основания и двухслойном нанесении.
2	Baumit Sanova Antisulfat	Для химической очистки от солей при санировании кладки, прежде всего, от сульфатов и хлоридов. Также для предварительной обработки от высолов при оштукатуривании.	Водный раствор для химической очистки от агрессивных солей, сульфатов и хлоридов. Применяется для санирования кладки. Превращает легкорастворимые соли в трудно растворимые соединения. Эти соединения остаются в кладке, не нанося ей вред.	Вода, фосфат бария.	Плотность: 1,04 кг/дм3 Цвет: зеленый Расход материала: 0,5-0,8 кг/м^2 в зависимости от выступления солей на основании.
3	Baumit Sanova AnticoBrick	Для кладки стен из бутового камня, керамического, силикатного кирпича. Для наружных и внутренних работ. Восстановление шовного заполнения в местах его утрат.	Сухая смесь на известковой основе. Пластичная, удобоукладываемая, паропроницаемая. Препятствует образованию грибка и плесени.	Гидратная известь, гидравлическая добавка, минеральный наполнитель, добавки.	Максимальный размер зерна: 2 мм. Предел прочности на сжатие (28 сут.): ≥ 2,5 Н/мм^2. Коэффициент теплопроводности: ок. 0,8 Вт/мК. Насыпная плотность: ок.1500 кг/м^3. Расход воды: 4,0-4,5 л/мешок. Выход раствора с 1 мешка ок. 16 л.
4	Baumit Klinker Normal	Для внутренних и наружных работ, для кладки стен из лицевого и клинкерного кирпича с нормальным водопоглощением около 9-16 %. Для снижения впитывающей способности и локального поверхностного укрепления слегка рыхлого кирпича	Сухая смесь, содержащая специальные добавки, преобразующие водорастворимую известь в нерастворимые соединения и препятствующие высолообразованию.	Цемент, песок, пигменты, добавки.	Размер зерна: не более 3 мм. Предел прочности на сжатие (28 сут): не менее 5 МПа. Предел прочности на изгиб (28 сут): не менее 1,5 МПа. Насыпная плотность: ок. 1600-1800 кг/м^3. Расход воды: ок. 0,145 л/кг. Выход раствора с 1 мешка: ок. 16 л.

Окончание таблицы 1

№ п/п	Название материала	Назначение	Свойства	Состав	Технические данные
5	Baumit SanovaPrimer	Для внутренних и наружных работ. Для подготовки незначительно мелящих минеральных базовых и финишных штукатурок перед нанесением минеральных или полимерных штукатурок, а также красок Baumit.	Не образует пленку, легко наносится, высокопаропроницаемая, хорошо упрочняет основания и выравнивает их впитывающую способность, благодаря высокой щелочности препятствует образованию плесени, в результате сужения пор способствует снижению водопоглощения.	Калиевое жидкое стекло, в незначительном количестве органические модификаторы, вода.	Плотность: ок. 1,0 кг/л. Значение pH: ок. 11. Расход материала: ок. 0,2 л/м^2 на один слой (в зависимости от типа основания). Выход: прим. 1 ведро на 50 м^2 при нанесении в один слой. ЛОС: < 60 мкг/м^3.
6	Baumit Sanova AnticoFine	Накрывочная штукатурка наносится на минеральные крупнозернистые штукатурки. Применяется для внутренних и наружных работ.	Сухая смесь для выполнения накрывочного слоя на крупнозернистых штукатурках. При проведении фасадных работ штукатурка наносится исключительно на известковые, известково-трассовые и известково-цементные штукатурки.	Гидратная известь, 5 % гидравлическая добавка.	Максимальный размер зерна: 0,6 мм. Предел прочности на сжатие (28 сут.): >1 Н/мм^2. Коэффициент теплопроводности λ: ок. 0,5 Вт/мК. Коэффициент сопротивления Паропроницанию μ: ок. 10. Коэффициент (Sd): ок. 0,3 при толщине слоя 20 мм. Плотность сухой смеси: ок. 1100 кг/м3 Расход материала: ок. 5 кг/м^2 при толщине слоя 3 мм. Макс. толщина при однослойном нанесении 5 мм.
7	Baumit SanovaColor	Защита и цветовое оформление фасадов и интерьеров. Наносится на старые и новые минеральные штукатурки и шпаклевки. Специально рекомендуется для защиты памятников архитектуры, реставрации и санации.	Минеральная. При высыхании не накапливает внутренних напряжений. Не образует глянцевую пленку на поверхности. Устойчивая к атмосферным воздействиям. Водоотталкивающая. Высокая проницаемость водяного пара и CO_2. Минимальная склонность к загрязнению.	Минеральные наполнители, калиевое жидкое стекло с органическими стабилизаторами, пигменты, добавки, вода.	Плотность: ок. 1,60 кг/дм^3. Содержание твердой фазы: ок. 65 %. Значение pH: ок. 12. Значение μ: ок. 40-60. Значение Sd: V1 < 0,14 м. Водопоглощение, значение W: W2; 0,1 – 0,5 кг/м² x h0,5. Расход материала (на гладком основании): ок. 0,15 л/м² на слой (в зависимости от типа основания). Цвета: определенные цвета по палитре Life Colored by Baumit.

Учитывая современные требования к условиям приспособления и эксплуатации ОКН, системы Baumit для реставрации кирпичной кладки являются примером инновационных решений по сохранению памятников архитектуры.

Для обеспечения долговечности и сохранности фасадов исторических зданий с каменной кладкой, важными аспектами при реставрации и восстановлении являются:

- Разрушение каменных конструкций часто происходит из-за увлажнения несущих элементов, процессов выветривания, воздействия агрессивных атмосферных осадков и подмыва фундамента.
- Для реставрации несущих и ограждающих конструкций из натурального камня необходимо провести детальное исследование материала, включая его физико-механические характеристики, способ обработки, цвет и фактуру.
- Реставрация каменных построек требует учета специфических особенностей растворных смесей, близких по характеристикам к историческим образцам.
- Соли, скапливающиеся на камне, могут привести к разрушению его структуры, поэтому эффективным методом борьбы с образованием солей является удаление влаги и обработка гидрофобизирующими средствами.
- Реставрационные работы с деформированным материалом включают заделку трещин и склеивание частей с помощью специальных растворов, в основу которых могут входить минеральные наполнители, полимеры.

4. Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Согласно актуальным научным исследованиям, были определены преимущественные методы и способы восстановления фасадов исторических каменных зданий, включая анализ существующих подходов к реставрации и оценку их эффективности.
2. Был проведен анализ наиболее известных методов и способов реставрации с учетом физико-механических характеристик рассматриваемых типов строительных материалов.
3. Были предложены рекомендации по защите и реставрации поврежденных каменных фасадов ОКН, с учетом действующих нормативных требований и стандартов.
4. Данная работа может служить основой для дальнейших исследований в области использования современных строительных материалов при реконструкции и реставрации ОКН.

Список литературы/ References

1. Historic Masonry Restoration Best Practices. URL: https://www.masonrymagazine.com/blog/2019/08/29/historic-masonry-restoration-best-practices/ (reference date: 01.07.2023).
2. Коряков А.С., Гулий А.Е. Датировка зданий исторической застройки по характерным признакам строительных материалов // Вестник МГСУ. 2016. № 9. С. 62–74 [Koryakov A.S., Guliy A.E. Dating of historical buildings according to the features of building materials // Vestnik MGSU. 2016. No 9. P. 62–74]. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.9.62-74.
3. Смирнов Д.С., Мавлиев Л.Ф., Ягунд Э.М., Хузиахметова К.Р., Башаров Т.Р. Определение состава материалов внешней отделки исторических зданий // Международный форум Kazan Digital Week-2022 : Сборник материалов Международного форума, Казань, 21-24 сентября 2022 года. Казань: Научный центр безопасности жизнедеятельности. 2022. С. 383–387 [Smirnov D.S., Mavliev L.F., Yagund E.M., Khuziakhmetova K.R., Basharov T.R. Determination of the composition of materials for the exterior decoration of historical buildings // International Forum Kazan Digital Week-2022: Collection of materials of the International Forum, Kazan, September 21-24, 2022. Kazan: Scientific Center for Life Safety. 2022. P. 383–387].
4. Куприянов В.Н., Петров А.С., Чебышева Д.Г. Влияние дождей на процесс старения и разрушения материалов наружных стен. расчет количества дождей // Эксперт: теория и практика. 2020. № 1 (4). С. 28–32 [Kupriyanov V.N., Petrov A.S., Chebysheva D.G. Rain impact on aging and destruction of external walls materials. the amount of rain

calculation // Expert: theory and practice. 2020. No 1 (4). P. 28–32].
5. Berdnikov V., Stroganov V., Vdovin E., Stroganov I., Gasilov V. Corrosion Processes in Building Materials, Products and Structures // Proceedings of STCCE 2022. STCCE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. Vol. 291. Springer, Cham. P. 465–481. DOI: 10.1007/978-3-031-14623-7_40.
6. Franzoni E., Berk B., Bassi M., Marrone C. An integrated approach to the monitoring of rising damp in historic brick masonry // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 370. 130631. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130631.
7. Akcay C., Sayin B., Yildizlar B. The conservation and repair of historical masonry ruins based on laboratory analyses // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 132. P. 383–394. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.002.
8. Pavlopoulou L., Dimou A., Stogia M., Metaxa Z., Kourkoulis S., Alexopoulos N. Lime-based nanocomposites for masonry restoration: Towards the implementation of small-scale restoration // Materials Today: Proceedings. 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.06.348.
9. Pescari S., Budău L., Vîlceanu C.-.B. Rehabilitation and restauration of the main façade of historical masonry building – Romanian National Opera Timisoara // Case Studies in Construction Materials. 2023. Vol. 18. e01838. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e01838.
10. Орлович Р.Б., Горшков А.С., Деркач В.Н., Зимин С.С., Гравит М.В. Причины повреждений каменной кладки после реставрации. Строительство и реконструкция. 2022. № 1. С. 48–58 [Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Derkach V.N., Zimin S.S., Grawit M.V. Causes of damage to masonry after restoration. Building and Reconstruction. 2022. No 1. P. 48–58]. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-99-1-48-58.
11. Singh T.D., Prakash S., Manohar S. Assessment of the performance and compatibility of acrylic polymer and silane based consolidants on deteriorated heritage masonry units subjected to salt weathering // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 77. 107490. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.107490.
12. Vavričuk A., Bokan-Bosiljkov V., Kramar S. The influence of metakaolin on the properties of natural hydraulic lime-based grouts for historic masonry repair // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 172. P. 706–716. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.007.
13. Muñoz R., Lourenço P.B., Moreira S. Experimental results on mechanical behaviour of metal anchors in historic stone masonry // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 163. Pp. 643–655. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.090.
14. Marinelli A., Santa S., Spiliopoulos A., Dasiou M.E. Optimizing strengthening interventions on historic masonry walls: an experimental study // Procedia Structural Integrity. 2019. Vol. 18. P. 245–254. DOI: 10.1016/j.prostr.2019.08.160.
15. Zielinska M., Joanna Misiewicz J. Analysis of Historic Brick Walls' Strengthening Methods // Procedia Engineering. 2016. Vol. 161. P. 771–776. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.702.
16. Martínez-Soto F., Ávila F., Puertas E., Gallego R. Spectral analysis of surface waves for non-destructive evaluation of historic masonry buildings // Journal of Cultural Heritage. 2021. Vol. 52. P. 31–37. DOI: 10.1016/j.culher.2021.09.002.
17. Системы для реставрации и санации. URL: https://baumit.ru/putevoditel-kategorija/sistemy-dlya-restavracii-i-sanacii-1 [Systems for restoration and sanitation. URL: https://baumit.ru/putevoditel-kategorija/sistemy-dlya-restavracii-i-sanacii-1] (reference date: 01.07.2023).
18. Карагерги В.Д. Комплексный подход как метод реставрации // Nota Bene. 2019. № 17. С. 16–19 [Karagergi V.D. Integrated approach as a method of restoration // Nota Bene. 2019. No 17. P. 16–19].
19. Fournari R., Kyriakou L., Ioannou I. On the Effect of Poor-Quality Aggregates on the Physico-Mechanical Performance of Repair Lime-Based Mortars // RILEM Bookseries. 2023. Vol. 42. P. 416–425. Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-31472-8_33.
20. Pavlík Z., Vyšvařil M., Pavlíková M., Žižlavský T., Záleská M., PivákA. Lightweight mortars with chalcedonite – Towards functional and durable materials for repair of historical masonry // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 79. 107841. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.107841.
21. Barbieri E., Trevisiol F., Pizzigatti C., Bitelli G., Franzoni E. Evaluating water-repellents

applied to brick masonry: An experimental study by thermal imaging and water transport properties' characterization // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 356. 129319. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129319.
22. de Oliveira L.M.G., Mesquita E.F.T., de Oliveira Freire F.L., Bertini A.A. The influence of the bricks and mortar characteristics, paint, and salts on the rising damp of historic masonries through hygrothermal simulation // Journal of Cultural Heritage. 2023. Vol. 64. P. 92–101. DOI: 10.1016/j.culher.2023.09.002.

Информация об авторах

Альбина Гомеровна Хабибулина, кандидат экономических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
E-mail: albgomer@mail.ru
Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Руслан Николаевич Бабенко, архитектор-реставратор**,** региональный менеджер по Татарстану, ООО «Баумит», г. Дубна, Российская Федерация.
E-mail: babenko-r@mail.ru

Information about the authors

Albina G. Khabibulina, Candidate of Economical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.
E-mail: albgomer@mail.ru
Alfred M. Suleymanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corr.-m. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Ruslan N. Babenko, restoration architect, Tatarstan regional manager, LLC «Baumit», Dubna, Russian Federation.
E-mail: babenko-r@mail.ru

УДК: 72
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_109
EDN: HUEKZF

Семантический подход к проектированию открытых городских общественных пространств в районах жилой застройки (на примере Республики Татарстан)

М.С. Латыпова[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* В современных условиях высокой мобильности и возрастающей конкуренции за человеческий капитал, смыслообразная идентичность городских территорий становится неотъемлемым критерием современной комфортной городской среды. Цель исследования – разработка семантического подхода к проектированию открытых городских общественных пространств в районах жилой застройки. Задачи включают: определение основных материальных и нематериальных компонентов городской среды, формирующих ее семантические (смыслообразные) характеристики, разработку методики семантического кодирования городской среды и ее планировочных элементов.
Результаты. Сформулированы основные понятия, связанные с семантическим кодированием открытых городских общественных пространств, включающие: «семантика общественных пространств», «семантический код городских общественных пространств». Сформирована методика семантического кодирования городских открытых общественных пространств. Разработаны: проекты благоустройства открытых городских общественных пространств городского, районного значения в Казани и Набережных Челнах.
Выводы. Разработана методика семантического кодирования открытых городских общественных пространств, которая позволяет проектировать общественные пространства, обладающие высокой степенью «вообразимости» и формирующие образ окружения территории.

Ключевые слова: открытые городские общественные пространства, семантическая организация городских открытых общественных пространств, семантическое кодирование, семиотизация, территориальная идентичность, образ города

Для цитирования: Латыпова М.С. Семантический подход к проектированию открытых городских общественных пространств в районах жилой застройки (на примере Республики Татарстан) // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 109-119, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_109, EDN: HUEKZF

Semantic approach to the design of open urban public spaces in residential areas (on the example of the Republic of Tatarstan)

M.S. Latypova[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* In modern conditions of high mobility and increasing competition for human capital, the semantic identity of urban areas becomes an integral criterion of a modern comfortable urban environment. The purpose of the study is to develop a semantic approach to the design of open urban public spaces in residential areas. The tasks

include determining the main material and non-material components of the urban environment that form its semantic (meaningful) characteristics, developing a methodology for semantic coding of the urban environment and its planning elements.
Results. The basic concepts related to the semantic coding of open urban public spaces are formulated, including “semantics of public spaces”, “semantic code of urban public spaces”. The methodology of semantic coding of urban open public spaces has been formed. The projects for the improvement of open urban public spaces of city and district significance in Kazan and Naberezhnye Chelny were developed.
Conclusions. The method of semantic coding of open urban public spaces has been developed, which makes it possible to design public spaces having a high degree of “imaginability” and forming the image of the surrounding area.

Keywords: open urban public spaces, semantic organization of urban open public spaces, semantic coding, semiotization, territorial identity, image of the city

For citation: Latypova M.S. Semantic approach to the design of open urban public spaces in residential areas (on the example of the Republic of Tatarstan) // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 109-119, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_109, EDN: HUEKZF

1. Введение

Сегодня объекты массовой жилой застройки составляют большую часть жилого фонда России. В планировочном отношении для этого периода характерно использование микрорайонной системы, а в объемно-пространственной организации – использование ограниченного количества проектов типовых зданий. Высокие темпы строительства в жилищном секторе требовали столь же оперативного создания окружающей среды, повлекшие массовое благоустройство открытых пространств городов, зачастую не принимающее во внимание территориальные и региональные особенности, а также «дух места» территории [1-2]. Подобная повсеместная стандартизация стала причиной высокой степени гомогенности городских селитебных зон и сложности пространственной ориентации горожан в жилой среде.

Сегодня критерий «идентичности и разнообразия», отвечающий за оценку своеобразия и узнаваемости городских территорий, был включен в оценку индекса качества городской среды, разработанного Акционерное общество «Дом.РФ» (финансовый институт развития в жилищной сфере России) и КБ «Стрелка»(российская консалтинговая компания специализирующаяся на городском развитии), на ровне с критериями безопасности, комфорта и экологичности современной городской среды.

В этой связи, высокую значимость приобретает проявления локальной пространственно-территориальной идентичности, служащей инструментом не только для самоидентификации с территорией [3], но и отражения ее уникального образа [4-6]. Субъективный образ города и его пространств, формирующийся в восприятии жителей и гостей города, основывается на интуитивной дешифрации уникальных объемно-пространственных характеристик среды и ее информационно-эмоционального наполнения [7].

Особую актуальность приобретает тема сохранения, проявления и формирования идентичности открытых городских общественных пространств, являющихся наиболее популярными местами отдыха и досуга горожан в структуре массовой жилой застройки, а вместе с тем и проблема интерпретации архитектуры и архитектурных пространств как системы знаков.

Изучением функционирования знаковых систем в рукотворной пространственной среде (культурном ландшафте) занимается архитектурная семиотика. Внедрению семиотического метода в архитектуру способствовала концепция структурной антропологии К.Леви-Стросса. Основополагающими для теории архитектурной семиотики стали последующие разработки У.Эко, Ф.Шоэ и др.

Для У.Эко архитектура базируется на конвенциональных правилах, или кодах. Интерпретацией архитектурных знаков и кодированием архитектурных выражений, «которые можно увидеть, почувствовать, через восприятие архитектурных систем или

комплексов (выражений)», занимается раздел *архитектурной семантики*. Вопросы семантической интерпретации архитектуры были рассмотрены в работах А.А. Барабанова [8], представляющего направление «чтение горда», В.И. Иовлева [9], занимающегося вопросами образного отражения архитектурных объектов, А.Г. Бурцева [10], исследующего семиотические модели языка архитектурных форм, Янковской Ю.С[11] рассматривающей взаимосвязи образа и морфологических характеристик архитектурно-средового объекта и др.

Архитектурная семантика отвечает за смысловую сторону архитектуры и кодирование и декодирование архитектурных форм. Если же мы говорим о *семантике общественных пространств*, на место архитектурной формы приходят пространственные планировочные элементы городской среды, такие как пешеходная улица, площадь, парк, и их компоненты, формирующие семиотическую систему архитектурного пространства [12].

Каждый пространственный элемент обладает своим значением, закрепленным в общественном и индивидуальном сознании. Более того, смысловые значения элементов зачастую изменялись. Например, такой планировочный элемент как площадь на протяжении свой истории изменял свое значение несколько раз: от демократической агоры к тоталитарным мега-площадям предназначенных для проведения военных парадов и компактным современным частным общественным площадям тихого отдыха. От возможности восприятия и дешифрования знаков (символов) в значительной степени зависит восприятие архитектуры. В особенности это касается ее информационно-семантического аспекта.

При восприятии пространственной среды архитектурно-градостроительного характера человек получает архитектурно-семантическую информацию, содержащую общие сведения для получения представления об этой пространственной форме. Семантическая информация о пространственной среде архитектурно-градостроительного характера включает эмоционально-смысловое содержание, основу материально-структурного построения и сюжетность.

Восприятие семантической информации от окружающей пространственной среды помогает человеку ориентироваться в ней и в известной степени предопределяет его дальнейшую эмоционально-эстетическую реакцию. Восприятие является сложным процессом, во многом зависящим от личности наблюдателя (его пола, воспитания, образования, потребностей) и его эмоционального состояния в момент восприятия.

Исследователи различают преднамеренное и непреднамеренное восприятие. Если преднамеренное восприятие объекта характеризует целенаправленное изучение среды, как правило профессиональным наблюдателем, то непреднамеренное восприятие среды прохожими влияет на возникновение эмоционального фона. То есть, среда содержит информацию как для преднамеренного, так и для непреднамеренного восприятия [13].

В рамках данного исследования предлагается обратиться к классификации типов наблюдателей И.А. Страутманиса, выделяющего два уровня семантики по отношению к возможностям восприятия окружающей архитектурно-пространственной среды:

1. Локальный (структурный) уровень восприятия архитектурной семантики;
2. Общий (глобальный) уровень восприятия архитектурной семантики.

Локальный уровень семантического восприятия характерен для профессиональной оценки объекта, преднамеренного восприятия конкретного архитектурно-пространственного сооружения.

Общий уровень восприятия архитектурной семантики характерен для общей семантической оценки пространственной среды профессионально неподготовленным человеком. Он затрагивает непреднамеренное восприятие пространства, окружающее человека в его повседневной жизни. В рамках данного исследования особое внимание будет уделено именно *общему уровню восприятия архитектурной семантики*.

В основу кодирования городского пространства для восприятия и чтения профессионально неподготовленным человеком ложится система параметров, которые можно подразделить на 2 крупные категории: ментальные и нематериальные

характеристики пространства.

Семантический код городских общественных пространств представляет собой инструмент кодирования и декодирования (смыслообразования и смысловыражения) системы знаков, символов и смысловых кодов восприятия, закрепленных в общественном сознании за той или иной архитектурно-пространственной формой, программирующей (формирующей) информационно-эмоциональную реакцию человека посредствам восприятия архитектурных систем или комплексов.

Совокупность знаков, символов и смысловых кодов восприятия формирует в сознании наблюдателя *образ окружения* пространства [14,15]. Каждый наблюдатель формирует самостоятельный образ окружения, но между членами одной социальной группы могут возникать некоторые совпадения, из которых формируются групповые образы. Именно групповые образы вызывают наибольший интерес, ложась в основу моделирования окружения, считываемого множеством людей.

Цель исследования – разработка семантического подхода к проектированию открытых городских общественных пространств в районах жилой застройки. Задачи включают: определение основных материальных и нематериальных компонентов городской среды, формирующих ее семантическое наполнение, разработку методики семантического кодирования городской среды и ее планировочных элементов.

2. Материалы и методы

Методика исследования основана на анализе литературных источников, графических и проектных материалов. При исследовании применен комплексный подход, включающий общенаучные (классификация, систематизация, наблюдения) и специальные (архитектурно-типологический, архитектурно-градостроительный, функциональный) методы исследования. Метод классификации, систематизации применен при изучении литературных источников для выявления понятийно-терминологического аппарата, выявления семантических подходов к проектированию открытых городских общественных пространств. При разработке концепций благоустройства открытых городских общественных пространств применены методы архитектурно-градостроительного, типологического, ретроспективного, колористического и топонимического анализа, метод моделирования, а также метод полевого исследования при выборе и изучении городской среды для разработки концепций благоустройства.

При исследовании архитектурно-градостроительных особенностей и смыслообразного наполнения территорий проектирования, а также последующей разработке концепций благоустройства открытых городских общественных пространств применен графический метод анализа.

3. Результаты и обсуждение

В результате решения поставленных задач в данном исследовании определены основных материальные и нематериальные компоненты городской среды, формирующих ее семантические (смыслообразные) характеристики. К *нематериальным* (ментальным) характеристикам можно отнести *историко-культурные* (историю региона, культурные традиции, памятные исторические места, традиции на месте проектирования и др.) и *социокультурные* характеристики (процессы социальных коммуникации, реализуемых на территории). К *материальным* – характеристики ландшафта и его компонентов, архитектурно-градостроительные характеристики среды т. д. Сумма данных параметров формирует информационно-смысловой фон и смыслообразный каркас городского пространства, выражаемый посредствам семантического кода. Исследованием предлагается систематизация материальных и нематериальных компонентов семантического архитектурного кода на три подкода: *ландшафтный код*, *социокультурный код* и *архитектурно-градостроительный код*.

К основным задачам *ландшафтного кода* относится проявления внимания к особенностям конкретного места - его ландшафту, где визуальные образы ландшафта трансформируются в определенные знаки и/или символы ландшафтного кода.

Социокультурный код объединяет в себе социальную и историко-культурную подсистемы, рассматривая как аспекты социальных отношений, материализующихся в городском пространстве, так и информацию о материальных и нематериальных историко-культурных компонентах территории. *Архитектурно-градостроительный код* рассматривает действующий в городском пространстве «язык» архитектурных объектов и пространств в градостроительном, архитектурном и предметном масштабах (рис. 1).

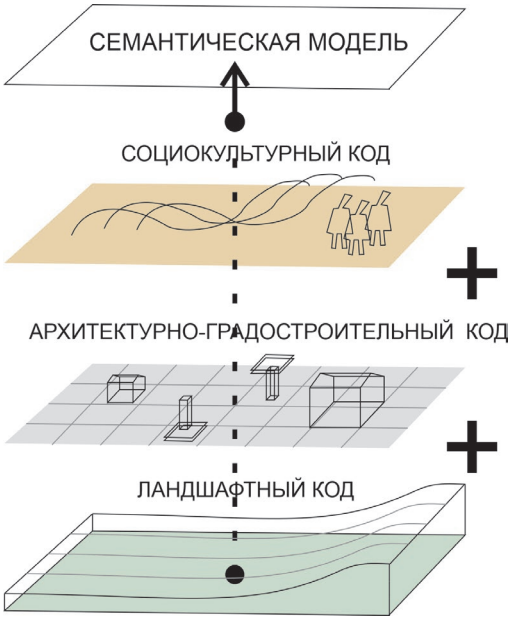


Рис.1. Семантическая модель городского пространства (иллюстрация автора)
Fig.1. Semantic model of urban space (illustration by the author)

Представлена методика семантического кодирования городской среды и ее планировочных элементов (открытых городских общественных пространств), формирующаяся на основе модели конструирования символической образности, и реализуемая следующими этапами:

1.*Схематизация* – вычленение элемента из всех прочих элементов планировочной структуры города, системы городских открытых общественных пространств.

2.*Конвенциализация* – закрепление кодового значения. Закрепление в общественном сознании «символа» пространства, программирующего информационно-эмоциональную реакцию человека на среду, через означивание (наделения названием) пространства или знаковых элементов. Проявление существующего названия территории или формулирование нового имени.

3.*Наделение элемента значащими деталями* через моделирования характеристик элементов ландшафтной, социокультурной и архитектурно-градостроительной знаковых систем, включающее в себя моделирование предметных/материальных (местоположение, архитектурное окружение, геометрия пространства, характеристики элементов благоустройства, дендрология, световое решение) и нематериальных/ментальных (история места, культура, мифы, легенды, социальные коммуникационные процессы и т.д.) характеристик элементов городских открытых общественных пространств, которое позволяет программировать информационно-эмоциональную реакцию человека на среду. Под информационно-эмоциональной реакций человека на среду, в рамках данного исследования, понимается единовременная эмоционально-эстетическая реакция (психоэмоциональное воздействие среды на человека) и непосредственно получение, считывание информации (условие ориентации).

4.*Рождение матрицы кругов смысла* - встраивание планировочного элемента, общественного пространства и его компонентов, со своим индивидуальным

символическим полем с оригинальной внутренней структурой и семантикой, в семантическое поле города или района.

Семантический подход к проектированию открытых городских общественных пространств, направленный на проявление выявленных ландшафтных, архитектурно-планировочных и социокультурных особенностей территории, был рассмотрен в концептуальных проектных решениях: набережной городского значения и парка районного значения.

Набережная городского значения

Проектное предложение архитектурно-художественной организации территории, направленное на проявление и формулирование ее уникального смыслообразного наполнения, было рассмотрено на примере концепции комплексного развития прибрежной территории Волжской береговой зоны в центральной части г. Казань.

Основой для проявления архитектурно-художественного своеобразия территории стала совокупность ландшафтных, архитектурно-градостроительных и социокультурных особенностей территории. Однако, в связи с ключевой ролью р. Волги, как основного элемента смыслообразного каркаса города, первостепенная роль всё-таки была отдана ландшафтному коду. Кардинальные изменения уровня воды в реке, в связи с созданием Куйбышевское водохранилища, значительно изменили историческую береговую линию реки, однако не поменяли ее градообразующее значение, лишь усилив историко-культурное своеобразие. Тема динамических колебаний воды легла в основу образного и планировочного террасированного решения набережной, поделив ее на 4 уровня: первый уровень в зоне воды, в виде троп находящихся на глади реки с площадками для отдыха, окружённых биоплато; второй уровень склона озелененной инженерной дамбы с тематической водной детской площадкой; третий уровень функциональных площадок и водонакопителей; четвёртый уровень шумозащитных зеленых холмов с терренкурами. Размещение архитектурных объектов и малых архитектурных форм в структуре набережной также имело ритмический характер.

Рис.2. Историко-культурное своеобразие ландшафтных, архитектурно-градостроительных и социокультурных особенностей территории Волжской береговой зоны (иллюстрация Э. А. Мингалимова, выполненная в рамках ВКР под рук. М. С. Латыповой)

Fig.2. Historical and cultural originality of landscape, architectural, urban planning, and socio-cultural features of the territory of the Volga coastal zone (illustration by E. A. Mingalimova, made as part of the thesis under the supervision of M.S. Latypova)

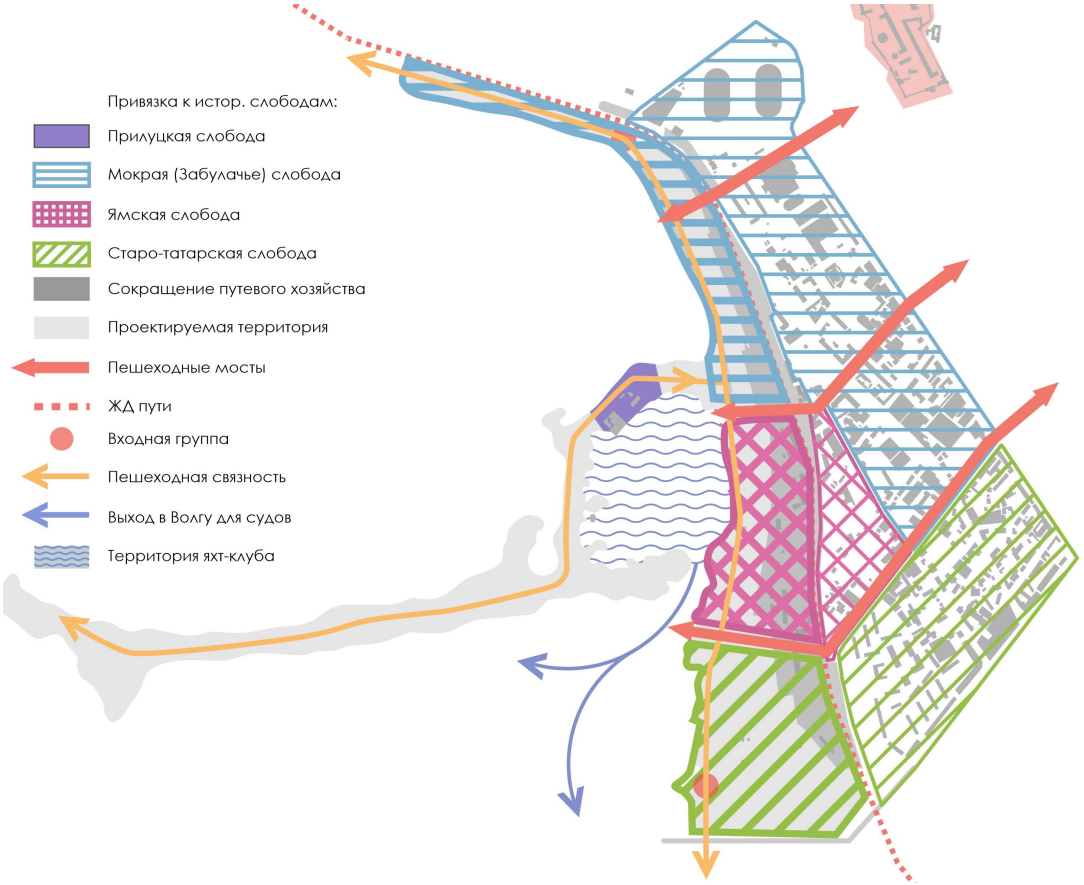


Рис.3. Концепция комплексного развития прибрежной территории Волжской береговой зоны (иллюстрация Э. А. Мингалимова, выполненная в рамках ВКР под рук. М. С. Латыповой)
Fig.3. The concept of integrated development of the coastal territory of the Volga coastal zone (illustration by E. A. Mingalimova, made as part of the thesis under the supervision of M.S. Latypova)

Социокультурный код, связанный с утраченными историческими укладами и традиционными промыслами существовавших на территории слобод, лег в основу как символического планировочного деления набережной на три тематических фрагмента, соответствующих границам исторических вернакулярных районов - Прилуцкой, Мокрой, Ямской слобод, так и функционального наполнения зон. Участок, находящийся на месте Мокрой слободы, преобразуется в ландшафтный парк с прудами водонакопителями, срединная часть территории сопоставимая границам с Ямской слободой сформирует деловое ядро, тем самым вернув характерный торгово-деловой исторический уклад территории, территория Локомотива, подвергшаяся почти полному затоплению, будет благоустроена под городской пляж, с целью сохранения исторического артефакта – дореволюционного каменного тракта (рис. 2).

Символическое планировочного деления набережной на три тематических фрагмента также нашло свое отражение в элементах архитектурно-градостроительного кода (рис. 3). Например, визуальные образы архитектурных объектов, а также МАФов на территории Мокрой слободы, примыкающей к акватории р. Волги, основывались на абстрактной интерпретация динамики воды. Функциональное значение объектов музея «Судоходства» и тематической детской площадки «Ручеек» также усилили общую образную составляющую.

Парк районного значения

Архитектурно-художественная организации рекреационной территории с высокой степенью «вообразимости» (по К.Линчу) была рассмотрена на примере концепции террасированного парка районного значения на территории Междуречья в г. Набережные Челны. Данная территория имеет важное стратегическое значение в

масштабе города, располагаясь между так называемыми «старой» и «новой» частями г. Набережные Челны. Однако на сегодняшний день она находится в состоянии стагнации: превалирующая промышленная функция представлена слабо функционирующими или недействующими промышленными предприятиями, связанными с производством строительных материалов. Наиболее широко известным предприятием является «ЗЯБ» (Завод ячеистых бетонов), в свое время выполнявший функцию градообразующего предприятия. Новый генеральный план города рассматривает дальнейшее развитие этой территории с последующим формированием многофункционального жилого района. Однако промышленное прошлое и существующие производственные корпуса накладывают определённый архитектурный контекст на образ территории.

Эскизный проект благоустройства террасированного парка стал частью комплексной концепции развития всей территории Междуречье. Отсутствие архитектурно значимых для горожан пространств на территории проектирования, лишь подчеркивает потребность в создании новых, основывающихся на значимых для горожан образах. Проектируемый парк мог бы сыграть роль центра городской жизни нового района.

Основой для проявления архитектурно-художественного своеобразия рекреационного пространства также стала совокупность ландшафтных, архитектурно-градостроительных и социокультурных особенностей территории. Однако ландшафтный код безусловно играет ведущую роль, в связи с высокой выраженностью рельефа (перепад высот составляет порядка 25 метров), делающего ландшафт проектируемого парка уникальным (рис. 4).

Архитектурно-градостроительный код отражает историческое своеобразие, отсылая к индустриальному прошлому территории, посредствам внедрения в современные проектные решения фасадов проектируемых общественных зданиях, МАФов и покрытий дорог и подпорных стенок традиционные для территории материалы и художественные средства, такие как: бетон (основной материал, из которого производили различные изделия завода ячеистых бетонов, ставшие основополагающими материалами для строительства города Набережные Челны), цветная мозаика, бетонные плиты, национальные орнаменты (как монументальное искусство прошлого территории).

На всей территории парка предлагается размещение стилизованных бетонных арт объектов, призванных внедрить историческое промышленное своеобразие, транслирующее локальную идентичность места, на уровне дизайна среды.

Социокультурный код, с одной стороны отражая историко-культурный контекст территории, а с другой современные потребности в изменении технологий образа жизни жителей района, предусматривает внедрение культурно-досуговых функций в структуру общественного рекреационного пространства. Культурный центр с концертной площадкой и музей «бетона», включающий интерактивную экспозицию об истории завода ячеистых бетонов и промышленной истории Набережных Челнов, станут не только объектами-ориентирами планировочной среды района, но и площадками социальных коммуникаций и укрепления соседских связей для жителей.

Новизна разработанного проектного подхода заключается в кодировании как материальных и, так и нематериальных характеристик среды, а также насыщение открытых городских общественных пространств высокой степенью «вообразимости», эмоциональным значением отраженном как в вербальной культуре, так и в бессознательном переживании среды наблюдателем.

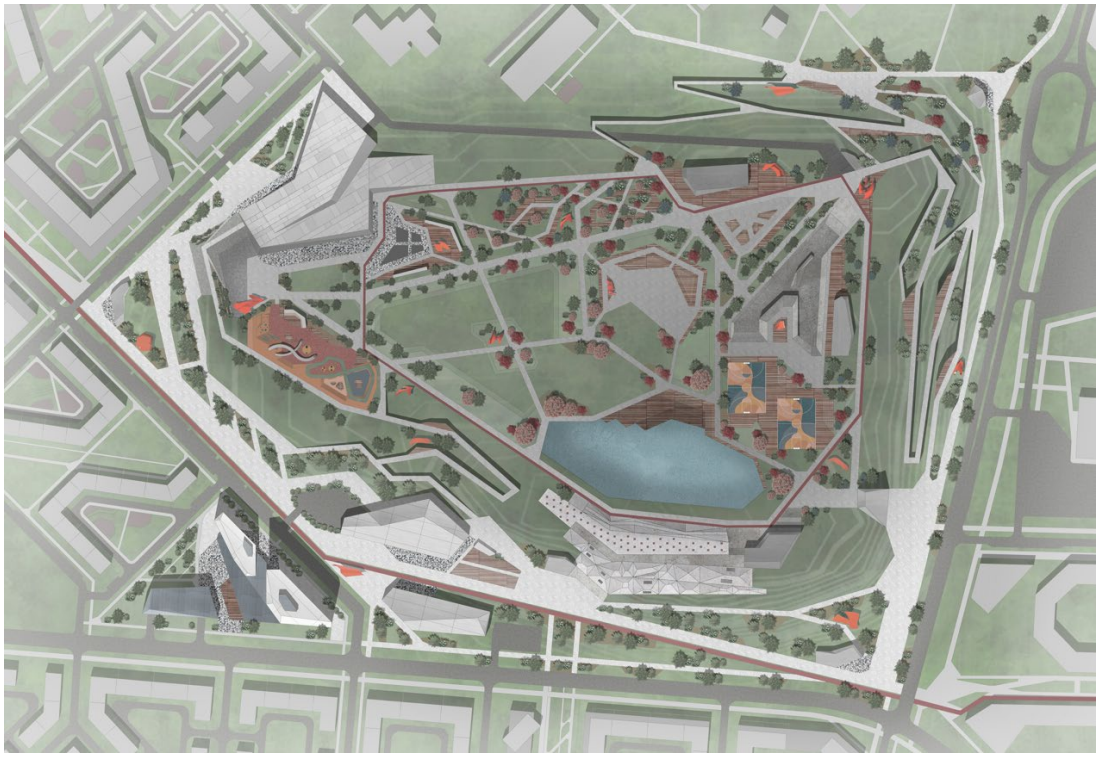


Рис.4. Концепция террасированного парка «Яма» (иллюстрация Гусева Э. Л., выполненная в рамках ВКР под рук. М.С.Латыповой)
Fig.4. The concept of the terraced park "Yama" (illustration by E. L. Guseva, made as part of the thesis under the supervision of M.S. Latypova)

4. Заключение

1. Выявлены понятия: «семантика общественных пространств», «семантический код городских общественных пространств».
2. Разработана методика семантического кодирования открытых городских общественных пространств, позволяющая проектировать общественные пространства, обладающие высокой степенью «вообразимости».
3. Апробация семантического подхода к проектированию открытых городских общественных пространств позволила выявить как общие, так и различные приемы в работе с открытыми городскими общественными пространствами. Каждая территория может обладать ландшафтным, архитектурно-градостроительным и социокультурным своеобразием. Однако, различные территории могут количественно или качественно отличаться концентрацией тех или иные компонентов семантического кода. Например, высокой природной или культурно-исторической ценностью. В таком случае приоритет в может отдаваться подкоду, оказывающему ключевое воздействие на формирование смыслообразного каркаса пространства. Однако только сумма данных параметров формирует целостный информационно-смысловой фон и смыслообразный каркас городского пространства, отвечающий за ее восприятие и формирующий образ окружения.
4. Разнообразие применяемых кодов при формировании открытого городского общественного пространства может обеспечивать возможность его идентификации в городской среде. «Знаковые» (наиболее семантически загруженные) общественные пространства могут выступать в качестве идентификаторов жилых районов – центров городской жизни – наряду с выразительными архитектурными объектами и ансамблями или дополнять их.

Список литературы / References

1. A. Stepanchuk, S. Gafurova, M. Latypova. Genius Loci» as a resource for the development of historical areas of the city// IOP conference series: Materials Science and Engineering, Kazan, April, 29 – May, 15, 2020. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. –P. 012013. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012013
2. А. В. Степанчук, С. В. Гафурова, М. С. Латыпова. «Дух места» как импульс ревитализации территории Адмиралтейской слободы города Казани // Архитектон: известия вузов. – 2020. – № 4(72). – С. 6. – DOI 10.47055/1990–4126-2020-4(72)-6. [Stepanchuk A. V., Gafurova S. V., Latypova M. S. "Spirit of place" as an impulse for revitalization of the territory of Admiralteyskaya Sloboda of Kazan / A. V. Stepanchuk, S. V., Gafurova M. S. // Architecton: the news of universities. - 2020. - № 4(72). - P. 6. –DOI 10.47055/1990-4126-2020-4(72)-6].
3. Chatzitoulousis S., Vlasidis V., Sarris A., Efkleidou K., Kotjabopoulou E., Papadopoulos N., Argyriou N., Donati J., Manataki M., Trapero-Fernandez P. Records and Transformations of Memories in the Cultural Landscape of Idomeni (Kilkis, Northern Greece), Open Archaeology. 2019. Vol. 5 (1). P.563-585. DOI: 10.1515/opar-2019-0035.
4. Федотова, Н.Г. Территориальная идентичность как объект эмпирического исследования // Ученые записки НовГУ. –2017. –№3 (11). – С. 15.[Fedotova, N.G. Territorial identity as an object of empirical research / N.G. Fedotova // Scientific notes of NovGU. - 2017. - № 3(11). - P. 15.].
5. Надырова, Х. Г. Проблема возрождения идентичности архитектуры Старо-Татарской слободы Казани // Историческая этнология. –2019. –№2. – С. 255–263. [Nadyrova, H. G. The problem of reviving the identity of the architecture of the Old Tatar settlement of Kazan / H.G. Nadyrova // Historical ethnology. -2019. –№.2. – P. 255-263.].
6. A. Stepanchuk, M. Salyakhova, V. Salyakhova. Preserving identity while reorganizing urban spaces // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, April, 21–28, 2021. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 1017. – DOI 10.1051/e3sconf/202127401017. – EDN ZBETKE.
7. Treija S., Bratuškins U., Barvika S., Bondars E. The liveability of historical cities: current state and prospects for habitation // WIT Transactions on the Built Environment. 2020. Vol.193. P.15-26. DOI:10.2495/gd170021.
8. Семиотика пространства: Сб. науч. тр. Междунар. ассоц. семиотики пространства / Ред. А. А. Барабанов. – Екатеринбург: Архитектон, 1999.– 688 с.: ил. [Semiotics of space: Collection of scientific works of International. assoc. of semiotics of space / Ed. by A. A. Barabanov. – Yekaterinburg: Architecton, 1999.– 688 p.: ill.].
9. Иовлев В. И. Введение в проектирование архитектурной среды / Иовлев В.И. – Екатеринбург: Архитектон, 2002. – 95 с. [Iovlev V.I. Introduction to the design of the architectural environment / Iovlev V.I. – Yekaterinburg: Architecton, 2002. – 95 p.].
10. А. Г. Бурцев Семиотическая модель языка архитектурных форм: автореферат дис. ... кандидата архитектуры: 18.00.01 / Уральская гос. архит.-худож. акад. - Новосибирск, 2001. - 28 с. [A.G. Burtsev Semiotic model of the language of architectural forms: abstract of the dissertation of the candidate of architecture: 18.00.01 / Ural State Archit.- Artist. acad. - Novosibirsk, 2001. - 28 p.].
11. Янковская, Ю. С. Архитектура городской среды. Образ и морфология — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 236 с. [Yankovskaya, Y. S. Architecture of the urban environment. Image and morphology / Yu. S. Yankovskaya. — 2nd ed. — St. Petersburg: Lan, 2023. — 236 p.].
12. Касаткина Светлана Сергеевна Семиотический подход к исследованию города как системы // Философская мысль. 2017. №6. [Kasatkina Svetlana Sergeevna Semiotic approach to the study of the city as a system // Philosophical thought. 2017. №6.].
13. Янковская Юлия Сергеевна, Андреева Юлия Константиновна Кострома - формирование градостроительной идентичности: город и река, история и современность // AMIT. 2018. №4 (45). [Yankovskaya Yulia Sergeevna, Andreeva

Yulia Konstantinovna Kostroma - formation of urban identity: city and river, history and modernity // AMIT. 2018. №. 4 (45).].
14. Yoshimura Y., He S., Hack G. et al. Quantifying Memories: Mapping Urban Perception // Mobile NetwAppl. 2020. Vol. 25. Iss.4. P.1275-1286. DOI: 10.1007/s11036-020-01536-0.
15. Spence C. Senses of place: architectural design for the multi-sensory mind. Cognitive research. Principles and Implications. 2020. № 5 (46). // URL:https://doi.org/10.1186/s41235-020-00243-4 (reference date 12.05.2022).

Информация об авторах

Латыпова Мария Сергеевна, старший преподаватель, Казанский государственный архитектурно- строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
E-mail: latypovamary@gmail.com

Information about the authors

Maria S. Latypova, senior lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.
E-mail:latypovamary@gmail.com

УДК: 726.012
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_120
EDN: HUEZDL

Формирование современной исламской культовой архитектуры России

А.Г. Саттаров[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* После распада Советского Союза с прекращением гонений на религию начался активный процесс строительства новых культовых сооружений и восстановления разрушенных храмов на территории всей России. В начале 90х годов в Татарстане, Башкортостане и других республиках России с преимущественно исламским населением активно начали строить мечети, однако их архитектура, в основном, не отличалась особенными художественными достоинствами. Сказалось прерывание традиции в проектировании и строительстве культовых сооружений на протяжении семидесяти с лишним лет. *Целью* статьи является изучение особенностей объектов современной исламской культовой архитектуры на примерах разработанных и реализованных проектов автора. *Задачи исследования*: изучение различных вариантов решения зданий мечетей в аспекте градостроительного развития сложившейся территории; описание возможностей декоративного убранства интерьеров мечети; роль мечети как центра культурно-социальной жизни жителей небольших поселений. *Результаты.* Был проведен анализ реализованных проектов мечетей как на территории РФ, так и за рубежом. Таким образом, при проектировании строительства и реконструкции как соборных, так и квартально-городских и сельских мечетей необходимо учитывать традиции татарских зодчих, необходимость создания несветского сакрального образа, не копирующего арабские или османские мотивы.
Выводы. Полученные результаты на базе рассмотренных примеров мечетей позволяют проследить основные их особенности, формирующие неповторимый образ, подчеркивающий национальную идентичность.

Ключевые слова: ислам, культовая архитектура, мечеть

Для цитирования: Саттаров А.Г. Формирование современной исламской культовой архитектуры России // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 120-132, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_120, EDN: HUEZDL

Formation of modern Islamic religious architecture in Russia

A.G. Sattarov[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* After the collapse of the Soviet Union, with the end of persecution of religion, an active process of construction of new religious buildings and restoration of destroyed churches throughout Russia began. In the early 90s, mosques began to be actively built in Tatarstan, Bashkortostan and other Russian republics with a predominantly Islamic population, but their architecture, for the most part, was not distinguished by any particular artistic merit. The interruption of tradition in the design and construction of religious buildings for more than seventy years caused this impact. The purpose of the article is studying the special features of modern Islamic religious architecture. Research objectives: to study

various options of mosques buildings in the aspect of urban development of the existing territory; description of the possibilities of ornamental decoration of mosque interiors; the role of a mosque as the center of cultural and social life of residents of small settlements. *Results.* An analysis of implemented mosque projects both in the Russian Federation and abroad was carried out. Thus, when designing the construction and reconstruction of both cathedral and quarterly city and rural mosques, it is necessary to take into account the traditions of Tatar architects, the need to create a non-secular sacred image that does not copy Arab or Ottoman motifs. *Conclusions*. The results obtained on the basis of the examined examples of mosques allow us to trace their main features that form a sacred image that emphasizes national identity.

Keywords: islam, religious architecture, mosque

For citation: Sattarov A.G. Formation of modern Islamic religious architecture in Russia // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 120-132, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_120, EDN: HUEZDL

1. Введение

Возрождение идентичности архитектуры современных городов является одной из важнейших задач [1]. Она должна решаться за счет строительства как новых зданий, так и за счет реконструкции существующих [2-4]. Понимание архитектурной идентичности должно базироваться на концепции проектирования, формообразовании, технологии строительства, связи с окружающей средой [5]. Уникальное пространство может формироваться не только за счет нового строительства, но и путем реконструкции с элементами модернизации объектов культурного наследия [6].

Идентичность архитектуры города формируется за счет уникальных общественных территорий, рекреационных зон, объектов культовой архитектуры, жилых комплексов. Остановимся отдельно на зданиях современной исламской культовой архитектуры, на мечетях. Российские авторы, изучая мечети, рассматривают орнаменты в оформлении интерьера, разрабатывают сравнительную их типологию, разбирают историческую основу создания старинных культовых сооружений [7-9]. Кроме того, исследователи подчеркивают, что мечеть издавна была местом не только совершения религиозного ритуала, но и центром социокультурной жизни горожан [10,11].

Архитектурные особенности и моделирование естественного освещения, вопросы количественной оценки визуального комфорта верующих в здании мечети интересуют зарубежных авторов [12-14]. Помимо этого, важными являются вопросы влияния климатических условий местности на архитектуру мечетей, необходимые конструктивные особенности здания для предотвращения пожаров в условиях жаркой местности [15-17]. Однако, немаловажными являются также особенности оформления внутренних интерьеров зданий мечетей [18].

Рассматриваемая тематика формирования объектов культовой архитектуры сейчас наиболее актуальна, поскольку после распада Советского Союза с прекращением гонений на религию начался активный процесс строительства новых культовых сооружений и восстановления разрушенных храмов на территории всей России [19].

Целью статьи является изучение особенностей объектов современной исламской культовой архитектуры на примерах разработанных и реализованных проектов автора. *Задачи исследования*: изучение различных вариантов решения зданий мечетей в аспекте градостроительного развития сложившейся территории; описание возможностей декоративного убранства интерьеров мечети; роль мечети как центра культурно-социальной жизни жителей небольших поселений.

2. Материалы и методы

Исследование построено на применении методов архитектурного моделирования – создание образа объектов исламской культовой архитектуры на базе приемов формообразования.

Методика архитектурного проектирования культового сооружения состоит из нескольких этапов:

– изучение исторического опыта проектирования культовых сооружений: анализ литературных источников, натурные наблюдения;

– сбор информации относительно идейного наполнения разнообразных элементов зданий, их форм;

– участие в общественных слушаниях, изучение мнения населения, традиций;

– разработка функциональной схемы эксплуатации здания;

– создание визуального образа культового объекта на основе региональных и национальных традиций с учетом современных тенденций развития архитектуры;

– создание композиционных моделей, отражающих функционально- образное содержание будущего здания;

– доработка схематичных функциональных связей в единую композиционную схему помещения;

– расчет экономических показателей, анализ архитектурно-художественного решения;

– проектирование здания с учетом действующих нормативов: инженерные сети, эвакуационные выходы, система вентиляции, размеры проемов для инсоляции помещений и др.;

– детальная проработка фасадов, разрезов, планов зданий.

3. Результаты и обсуждение

В начале 90х годов в Татарстане, Башкортостане и других республиках России с преимущественно исламским населением активно начали строить мечети, однако их архитектура, в основном, не отличалась особенными художественными достоинствами. Сказалось прерывание традиции в проектировании и строительстве культовых сооружений на протяжении семидесяти с лишним лет. Стоит отметить, однако и отдельные удачные примеры. Это мечеть «Тауба» в городе Набережные Челны[1], Соборная мечеть в Нижнекамске[2], мечеть «Ляля-Тюльпан» в Уфе[3]. Но и они при этом в своем образном решении несут черты советской монументальной архитектуры, тем самым придавая им светский характер образа.

Мощный импульс в формировании современной исламской культовой архитектуры придал объявленный в 1995 году международный конкурс на возрождение мечети «Кул-Шариф» в Казанском кремле. На конкурсе было представлено 16 проектов. Конкурс проходил в два тура. В итоге проект нашей команды оказался победителем, и он был принят за основу для дальнейшей разработки[4].

При разработке проекта мечети «Кул-Шариф» пришлось решать ряд важных и сложных задач.

Первая задача – градостроительная. Будущая мечеть должна была располагаться в Казанском кремле в окружении богатой исторической застройки. Вписать новое сооружение в исторический контекст– в окружение монастырских построек и православных соборов Казанского Кремля. Близкое соседство новой мечети с историческими христианскими постройками требовало особого подхода. Нужно было прежде всего определиться с местом строительства мечети в структуре Казанского Кремля. Проводились археологические изыскания по поводу поиска остатков фундамента соборной мечети Казанского Кремля ханского периода, но эти работы не увенчались успехом. Единственным свободным участком для строительства был задний двор бывшего юнкерского училища. В аспекте решения градостроительной задачи огромное значение имел масштаб будущей мечети. Мечеть по своим размерам должна была органично вписаться в панораму Казанского Кремля. Здесь важно было найти

[1] https://ru.wikipedia.org/wiki/Тауба_(мечеть)
[2] https://ru.wikipedia.org/wiki/Нижнекамская_соборная_мечеть
[3] https://ru.wikipedia.org/wiki/Ляля-Тюльпан
[4] https://ru.wikipedia.org/wiki/Кул-Шариф

соотношение нового здания с окружающей застройкой, чтобы она излишне не доминировала и в то же время не терялась в общем ансамбле Кремля.

Вторая важная задача, которую предстояло решить – создание образа современной Соборной мечети при том, что не было возможности найти исторические примеры аналоги. Соборная мечеть ханского Казанского Кремля не сохранилась, нет достоверных описаний или изображений того, как она выглядела. Развалины Соборной мечети в Булгаре и архитектура Соборной мечети в Санкт-Петербурге, которая по сути является компиляцией азиатской архитектуры эпохи Тимуридов, мало чем могли помочь нам в поиске образного решения новой мечети. Большую помощь в решении этой задачи оказала творческая командировка, организованная по инициативе президента Республики Татарстан М.Ш.Шаймиева. Наша проектная группа побывала в Турции, Египте и ОАЭ, где была возможность ознакомиться с архитектурой исторических и современных Соборных мечетей, что помогло в решении архитектурно-планировочных и композиционных задач. Но все увиденные в этих странах мечети были арабскими или османскими. Была поставлена задача создать татарскую Соборную мечеть, это, пожалуй, было самым сложным в работе. В поисках образа татарской мечети необходимо было продумать множество различных вариантов проектных решений.

Окончательный вариант представляет собой центрично-купольный объем с примыкающими к нему четырьмя минаретами, высотой в 58 метров, равными высоте легендарной башни Сюимбике. В основе планировочной структуры мечети лежит восьмиконечная звезда, образованная пересекающимися арочными плоскостями. Купол культового объекта стоит на барабане, опирающимся на вершины восьми арок. Мечеть возвышается на полукруглом стилобате, в котором расположился музей исламской культуры. Само здание многоуровневое, на первом этаже находится вестибюль, на втором – молельный зал, а на третьем – женская галерея (рис.1).

Еще одной сложной задачей явилось проектирование внутреннего убранства мечети. Оно было выполнено на основе трех принципов:

– соответствие исламским эстетических нормам;

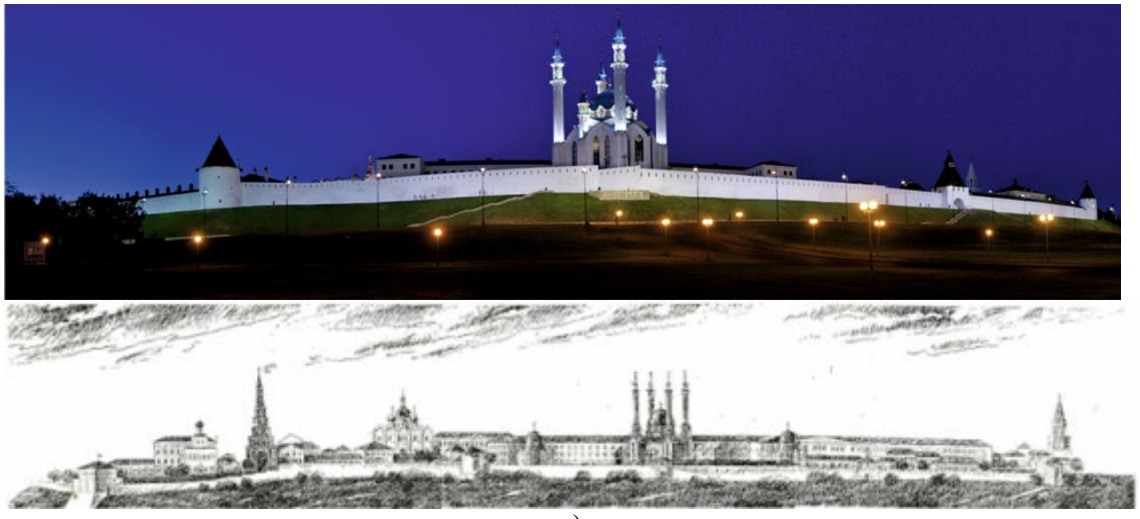
– отражение татарских национальных художественных традиций [20];

– передача духа современности.

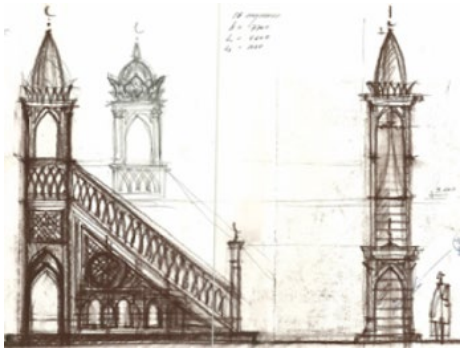
Декоративная насыщенность интерьера основного молельного зала мечети растет снизу вверх, чем выше, тем она богаче, что символизирует переход от мира данного, земного, к миру небесному, раю. Нижняя часть молельного зала облицована белым и желтым мрамором, арочные ниши украшены медальонами с именами пророков: Адама, Ноя, Авраама, Моисея, Иисуса и Мухаммеда, выполненные в технике мозаики. В верхних частях витражей окон, парусах подкупольного пространства и на поверхности самого свода купола размещены девяносто девять имен Всевышнего. По кольцу опорного купола размещена сура «Али-Имран», выполненная из смальты. По четырем углам молельного зала, на уровне женской галереи размещены четыре шамаиля с сурами из Корана: «Фатиха», «Ихляс», «Фаляк» и «Нас». Молельный зал освещается хрустальной люстрой высотой в девять и диаметром в пять метров, выполненной по нашему индивидуальному проекту мастерами из Чехии. Главный элемент оформления молельного зала это михрабная ниша. В центре михраба расположена «Шахада», символ веры. Купол михраба украшен мозаичной орнаментальной композицией, символизирующей райские сады Фирдаус. Справа от михраба установлен минбар. Он выполнен из мрамора разных цветов: зеленого, белого, желтого, украшен резьбой и мозаикой. Полы молельного зала и женской галереи покрыты коврами с татарскими национальными узорами, выполненными в мастерских Ирана.

Художественное оформление главного вестибюля решено в виде парадной залы. Потолки расписаны цветочными орнаментальными узорами. В четырех декоративных нишах вестибюля выполнены композиции в виде цветочного букета с вазонами, широко распространенными в татарском декоративно-прикладном искусстве. Они изготовлены из фаянсовых плиток по старинным технологиям в городе Кютахья в Турции. На самом нижнем уровне располагается музей ислама, в котором представлена экспозиция о развитии ислама на территории Татарстана и России. Основная тема оформления

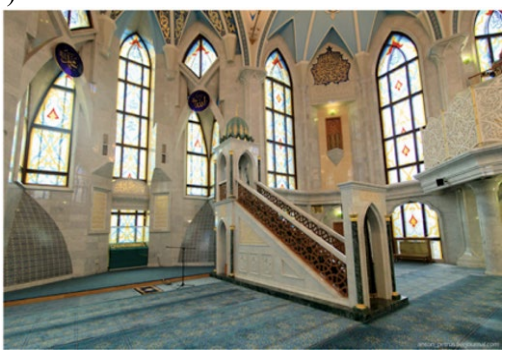
интерьеров музея ислама – свет знаний, ниспосланный священным Кораном. Центральное место в экспозиции музея занимает копия первого печатного Корана, который был издан в России. В оформлении интерьеров мечети также широко использовались резьба по дереву, кожаная мозаика, вышивка, лепнина и другие виды декоративно-художественной отделки.



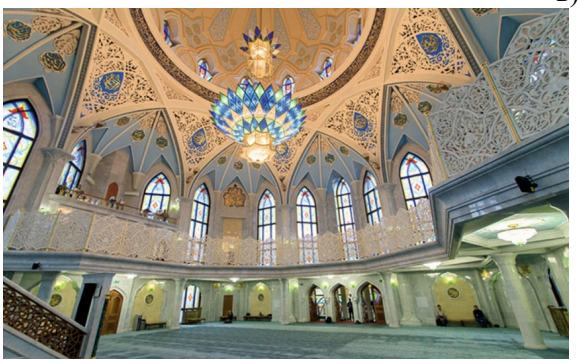
а)



б)



в)



г)

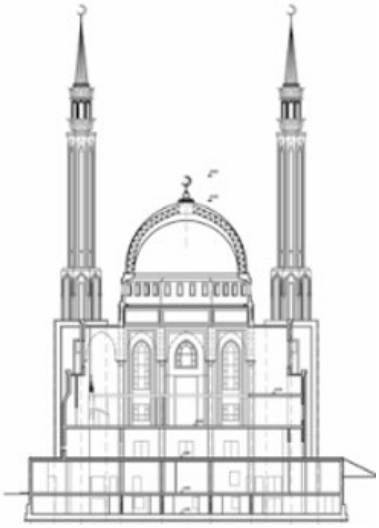
Рис.1. Мечеть Кул Шариф: а) вид на мечеть из различных точек города; б) эскиз минбара; в) молельный зал; г) главный вестибюль
(Выполнено автором в составе проектной группы)
Fig.1. Kul Sharif Mosque: a) view of the mosque from various points in the city; b) sketch of the minbar; c) prayer hall; d) main lobby
(Carried out by the author as part of the project team)

Мечеть Кул-Шариф была торжественно открыта в 2005 году и теперь трудно представить Казанский Кремль без этой мечети.

Работа над проектированием мечети Кул-Шариф позволила приобрести большой опыт, который помог в последующих проектах новых мечетей.

Следующей работой проектной группы под руководством автора является Мечеть Нур Гасыр в городе Актобе Республики Казахстан[5] Мечеть расположена в центральной части города на свободной от застройки территории. В основе объемно-пространственной структуры мечети центрично-купольная композиция с четырьмя минаретами по углам. Мечеть поднята на высокий стилобат, внутри которого располагаются гардеробы, тахаратхане, кухня, столовая для ифтара и другие вспомогательные помещения. Мечеть имеет три этажа. На первом этаже вестибюль с учебными классами, на втором – мужской молельный зал, на третьем – женская галерея. Вертикальные коммуникации, помимо четырех лестниц, дополнены группой пассажирских лифтов. Внутреннее убранство молельного зала мечети выполнено на основе казахского национального орнамента, внутренняя поверхность купола и михраб украшены декоративной мозаикой и кораническими надписями, покрытыми позолотой. Проектирование мечети велось в 2006-2007 годы, открытие состоялось в 2008 году в присутствии президентов РФ и Казахстана. Мечеть стала значимым общественным сооружением в структуре города, его визитной карточкой (рис.2).

а)



б) в)

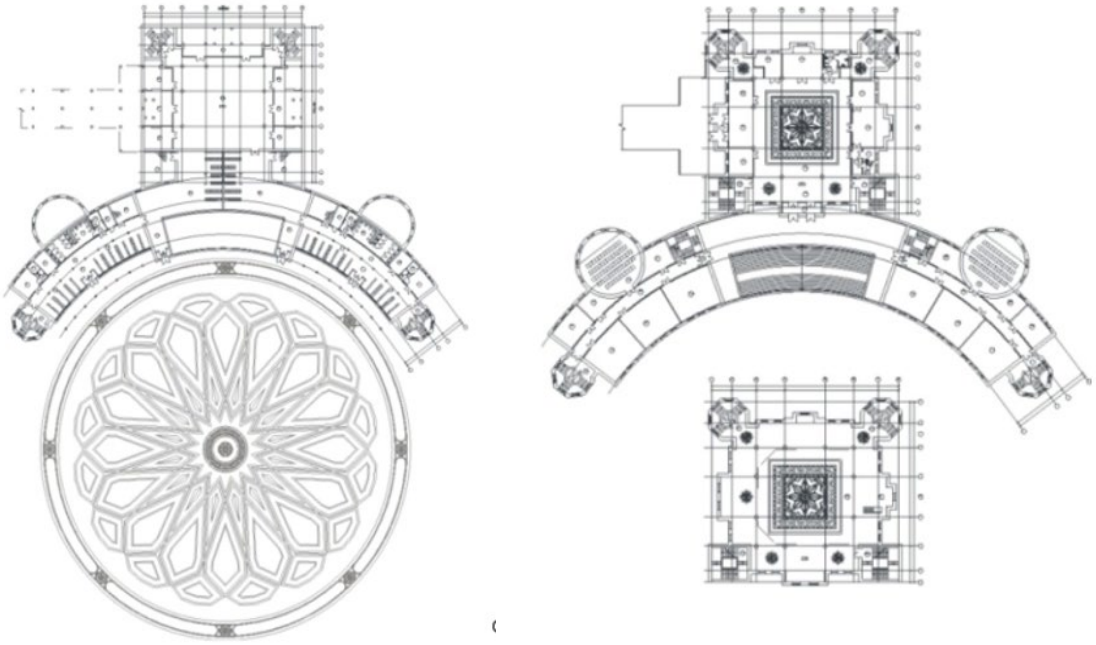
Рис. 2. Центральная областная мечеть в городе Актобе (Республики Казахстан): а) внешний вид мечети в панораме города; б) мужской молельный зал; в) продольный разрез (Выполнено автором в составе проектной группы)

Fig.2. Central regional mosque in the city of Aktobe (Republic of Kazakhstan): a) the appearance of the mosque in the panorama of the city; б) men's prayer hall; в) longitudinal section (Carried out by the author as part of the project team)

[5]ru.wikipedia.org/wiki/Мечеть_Нур_Гасыр

Продолжая тему соборных мечетей, следует упомянуть строящуюся соборную мечеть в городе Набережные Челны вместимостью 3200 человек[6]. Мечеть располагается в центральной части города и представляет собой целый комплекс, состоящий из объема самой мечети и двух боковых трехэтажных крыльев. Перед мечетью организуется обширная площадь, предназначенная для праздничных молитв при большом скоплении верующих-мусульман (рис.3). По завершению строительства мечеть должна стать столь необходимой градостроительной доминантой в структуре города [21].

а)



б) в)

Рис. 3. Соборная мечеть в городе Набережные Челны: а) фотография макета мечети; б) план первого этажа, в) планы второго и третьего этажей
(иллюстрация авторов)

Fig.3. Cathedral Mosque in the city of Naberezhnye Chelny: a) photograph of the mosque's layout; b) ground floor plan, c) plans of the second and third floors (illustration by the authors)

В проектной практике значимым аспектом является проектирование квартально-городских и сельских мечетей вместимостью до 500 человек. Одна из таких мечетей – мечеть «Ярдам» в городе Казань. Необходимо отметить, данная мечеть не только

[6] https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Соборная_мечеть_"Джамиг"_(Набережные_Челны).jpg

исламский культовый объект, она представляет собой целый комплекс, который помимо здания мечети включает в себя лечебно-реабилитационный центр для инвалидов по зрению. Мечеть имеет в плане круглую форму, к которой примыкает прямоугольный корпус лечебно-реабилитационного центра. Комплекс имеет отдельные входы для мужчин и женщин, корпус реабилитационного центра имеет три этажа и включает в себя учебные классы, столовую, процедурные кабинеты, спортзал и спальные помещения на третьем этаже. В реабилитационном центре «Ярдам» проводится большая работа по обучению слепых и слабовидящих Корану, приезжающих в центр «Ярдам» со всей России и стран СНГ. В центре имеется единственная в России типография, в которой печатается Коран шрифтом Брайля. Вокруг комплекса мечети оборудованы тренажеры для обучения незрячих адаптации к условиям городской среды. Имеется также футбольное поле и детские игровые площадки для детей-жителей микрорайона. Снаружи фасады отделаны штукатуркой и декоративно-мозаичными панелями. Под карнизом мечети идет по кругу мозаичная кораническая сура «Али-Имран». Снаружи михрабная ниша выделена за счет облицовки декоративным мозаичным панно. Внутренняя отделка молельного зала выполнена в охристо-золотистых тонах с использованием мозаики и декоративной лепнины. Мечеть «Ярдам», открытая в 2013 году, это единственный в России центр по адаптации инвалидов по зрению. Он стал притягательным религиозным и социально-культурным центром для жителей прилегающего жилого района Казани (рис. 4).

Рис.4. Комплекс мечети «Ярдам» в городе Казань
(Источник: https://yandex.ru/profile/1236317039)
Fig.4. The Yardam Mosque complex in Kazan
(Source: https://yandex.ru/profile/1236317039)

Примером современной сельской мечети может послужить мечеть «Суфия» в Республике Башкортостан[7]. Она расположена в селе Кантюковка на берегу искусственного озера. Объемно-пространственная структура мечети продолжает традиции татарских купольных мечетей. В планировочной структуре мечети предусмотрено разделение между мужскими и женскими потоками, мечеть имеет раздельные входы для мужчин и женщин. Снаружи мечеть облицована белым мрамором, а тимпаны декоративных арок на фасадах украшены мозаичными панно из смальты. В верхней части минарета расположена мозаичная кораническая надпись. В декоративном убранстве интерьеров мечети широко используется мозаика, в частности оформление свода купола. Михраб мечети выполнен в виде мозаичного панно с коранических надписями и растительным орнаментом. Стены внутри мечети также облицованы белым

[7] https://ru.wikipedia.org/wiki/Суфия_(мечеть)

мрамором. На окнах витражи с татарским орнаментом. В целом, все декоративное оформление мечети основано на традициях татарского декоративно-прикладного искусства. Мечеть была открыта в 2008 году и стала одной из жемчужин современной архитектуры Башкирии (рис. 5).

Рис.5. Мечеть «Суфия» в Республике Башкортостан
(иллюстрация авторов)
Fig. 5. Sufia Mosque in the Republic of Bashkortostan
(illustration by the authors)

За последние двадцать лет в Татарстане, и в целом в России было построено было построено большое количество городских и сельских мечетей. На сегодняшний все более актуальным становится не строительство новых, а реконструкция ранее построенных мечетей. Так, в поселке Нагорном города Казань в начале 90х годов силами прихожан была построена мечеть из силикатного кирпича с двумя минаретами. Долгие годы мечеть успешно функционировала, но со временем небольшой молельный зал мечети уже не вмещал всех прихожан, приходящих на пятничный намаз. В 2014 году при содействии спонсоров было принято решение о реконструкции мечети. По нашему проекту к старому зданию был пристроен новый корпус с обширным молельным залом на двести человек, а также сопутствующими помещениями, такими как тахаратная, гардеробы и тд. В старой части мечети расположилась кухня, столовая и учебные классы.

Снаружи мечеть облицована охристым травертином, а входные порталы – белым греческим мрамором с мозаичными золотистыми кораническими надписями. Новый корпус с высоким минаретом в сочетании со старым зданием образует необычную объемно-пространственную композицию комплекса мечети с тремя минаретами (рис. 6). Интерьер молельного зала украшен мозаичным порталом, ограждение женской галереи выполнено из кованого металла в виде цветочного орнамента[8]. Реконструкция мечети была завершена в 2015 году. Сегодня эта мечеть выполняет не только религиозные функции. В мечети проводится большая работа с детьми с ограниченными возможностями и детьми из многодетных семей в специально отведенных для них комнатах. К комплексу мечети примыкает большая детская площадка с современным оборудованием. По сути, мечеть стала центром культурно-социальной жизни жителей поселка.

[8] https://tt.wikipedia.org/wiki/Иман_Нуры_(мәчет,_Казан)

Рис.6. Мечеть «Иман-Нуры» в поселке Нагорный города Казань
(иллюстрация авторов)
Fig. 6. The Iman-Nur Mosque in the Nagorny village of Kazan
(illustration by the authors)

Приведем еще один пример реконструкции существующей мечети. Это историческая мечеть в городе Актобе в Казахстане[9]. Она была построена в 1903 году на средства татарских купцов и расположена в старой части города, которая так и называлась – «Татарка». В советское время мечеть была закрыта и использовалась как складское помещение. Мечеть вернули верующим в 1991 году. В 2013 году власти города решили в связи со 110-летием самой старой мечети города провести ее масштабную реконструкцию. По нашему проекту, к старой мечети было пристроено новое здание на 1200 человек. В новой части мечети расположились также входной вестибюль, гардероб, учебные классы. В цокольном этаже находятся помещения тахарата, кухня и столовая. В старой исторической части разместился музей ислама. Снаружи весь комплекс, включаю новую и старую части, облицован мрамором, что придает целостность всей объемно-пространственной композиции комплекса. Интерьеры вестибюля, тахаратных и молельного зала разработаны с учетом казахского декоративного искусства (рис. 7).

Рис. 7. Центральная мечеть города Актобе
(Источник: https://ru.wikipedia.org/wiki/Центральная_мечеть_города_Актобе)
Fig. 7. Central mosque of Aktobe
(Source: https://ru.wikipedia.org/wiki/Central_mosque_of_Aktobe)

[9] https://ru.wikipedia.org/wiki/Центральная_мечеть_города_Актобе

В 2022 году в связи с 1100-летием принятием ислама в Волжской Булгарии был объявлен международный конкурс на проект соборной мечети вместимостью в 10000 человек в городе Казани. Участок предполагаемого строительства был выбран на берегу реки Казанки. Наша команда с воодушевлением приняла участие в этом конкурсе и представила два полноценных проекта. Один из этих проектов был объявлен победителем. Архитектура мечети решена в ультрасовременных формах и представляет собой прозрачный купол из пространственно-стержневых конструкций. К мечети примыкает четыре разновысотных минарета, в стилобатной части комплекса мечети будет располагаться халяльный торговый центр, помещения общегородского социально-культурного назначения (рис. 8).

Рис. 8. Конкурсный проект соборной мечети в городе Казани
(Источник: выполнено автором в составе проектной группы)
Fig. 8. Competition project for a cathedral mosque in the city of Kazan
(Source: carried out by the author as part of the project team)

4. Заключение

1. Таким образом, были рассмотрены различные варианты нового строительства и реконструкции зданий мечети в аспекте градостроительного развития сложившейся территории на примере разработанных и реализованных проектов автора.

2. Декоративное убранство интерьеров мечетей основано на мозаичных растительных орнаментах и коранических надписях.

3. Современные мечети являются не только исламскими культовыми сооружениями, но и решают социальные задачи, являясь центром притяжения для своего района города.

Список литературы / References

1. Надырова Х. Г. Проблема Возрождения идентичности архитектуры Старо-татарской слободы Казани // Историческая этнология. – 2019. – Т. 4. – № 2. – С. 255-263 [Nadyrova Kh. G. The problem of the Revival of the architectural identity of the Old Tatar settlement of Kazan // Historical ethnology. – 2019. – T. 4. – No. 2. – P. 255-263]. – DOI 10.22378/he.2019-4-2.255-263. – EDN ACWAIC.
2. Айдарова-Волкова Г. Н. "Старое" и "новое" в архитектуре Древней Казани - два крыла устойчивого сохранения и развития исторического центра Архитектура и строительство России. – 2018. – № 3(227). – С. 20-25. [Aidarova-Volkova G.N. “Old” and “new” in the architecture of Ancient Kazan - two wings of sustainable preservation and development of the historical center Architecture and construction of Russia. – 2018. – No. 3(227). – P. 20-25.] – EDN YLQTLF.
3. Isidori F 2015 A structural project: Redevelopment of the historic center of Wuhu. In: Frontiers of Architectural Research, Vol. 4, P. 100-118. DOI: 10.1016/j.foar.2015.01.001

4. Firzal Y, Temas I 2018 Cultural Significance of the Place: the Key Factor in Urban Heritage Programme. In: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 213 012008,. DOI: 10.1088/1755-1315/213/1/012008
5. Abdulaziz Alzahrani Understanding the role of architectural identity in forming contemporary architecture in Saudi Arabia/ Alexandria Engineering Journal Volume 61, Issue 12, December 2022, Pages 11715-11736, https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.05.041
6. Ayşe Durukan Kopuz, Ahmet Bal The conservation of modern architectural heritage buildings in Turkey: İstanbul Hilton and İstanbul Çınar Hotel as a case study/ Ain Shams Engineering Journal Volume 14, Issue 4, 5 April 2023, 101918, https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101918
7. Загирова Г. И. Мотивы сасанидского орнамента в михрабах Пятничной мечети в Наине и мечети Шир-Кабир // Дом Бурганова. Пространство культуры. – 2017. – № 1. – С. 58-82. [Zagirova G.I. Motifs of Sasanian ornament in the mihrabs of the Friday Mosque in Nain and the Shir-Kabir Mosque // Burganov House. Space of culture. – 2017. – No. 1. – P. 58-82.] – EDN XWZMDT.
8. Ломакин Д. А. "Вышивка на кайме турецкой шали": о мечети Ешиль-Джами в Бахчисарае // Архитектурное наследство. – 2021. – № 75. – С. 24-39 [Lomakin D. A. “Embroidery on the border of a Turkish shawl”: about the Yeshil-Jami Mosque in Bakhchisarai // Architectural Heritage. – 2021. – No. 75. – P. 24-39]. – EDN APELAN.
9. Торцова О. Ю. Архитектура минской соборной мечети 1901 г // Архитектон: известия вузов. – 2020. – № 4(72). – С. 13. [Tortsova O. Yu. Architecture of the Minsk Cathedral Mosque 1901 // Architect: news of universities. – 2020. – No. 4(72). – P. 13.] – DOI 10.47055/1990-4126-2020-4(72)-13. – EDN QIAXPJ.
10. Бойназарова Т. М. Место и роль мечети в религиозной и общественной жизни мусульман // Вестник Таджикского национального университета. – 2019. – № 5-2. – С. 74-78. [Boynazarova T. M. The place and the role of the mosque in the religious and social life of Muslims // Bulletin of the Tajik National University. – 2019. – No. 5-2. – P. 74-78.] – EDN STJYZR.
11. Айдарова-Волкова Г. Н. Неизвестные мечети Старо-Татарской слободы второй половины XVI - первой половины XVIII вв // Историческая этнология. – 2019. – Т. 4, № 2. – С. 219-234 [Aidarova-Volkova G.N. Unknown mosques of the Old Tatar settlement of the second half of the 16th - first half of the 18th centuries // Historical ethnology. – 2019. – T. 4, No. 2. – P. 219-234]. – DOI 10.22378/he.2019-4-2.219-234. – EDN RFIFZP.
12. Lana Abubakr Ali , Faris Ali Mustafa. Evaluating the impact of mosque morphology on worshipers’ visual comfort: Simulation analysis for daylighting performance// Ain Shams Engineering Journal, July 2023, https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102412
13. Ingy I. El-Darwish, Rana A. El- Gendy. The role of fenestration in promoting daylight performance. The mosques of Alexandria since the 19th century// Alexandria Engineering Journal (2016) 55, 3185–3193, http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2016.08.006
14. Lana Abubakr Ali, Faris Ali Mustafa The state-of-the-art knowledge, techniques, and simulation programs for quantifying human visual comfort in mosque buildings: A systematic review// Ain Shams Engineering Journal 14 (2023) 102128, https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102128
15. Elham Hatami Varzaneh, Masoome Aminib, Mohammad Reza Bemanianc. Impact of Hot and Arid Climate on Architecture (Case Study: Varzaneh Jame Mosque)// Procedia Engineering 94 (2014) 25 – 32, doi:10.1016/j.proeng.2013.10.010
16. Amr Sayed Hassan Abdallah. Improved energy consumption and smart eco system for mosques in hot arid climates// Ain Shams Engineering Journal 14 (2023) 101997, https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101997
17. Semahat Merve. The effect of domed and hip roof coverings on mosque design in case of fire// Journal of Engineering Research, August 2023, https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.08.011
18. R. Othman, Z.J.Zainal-Abidin. The Importance of Islamic Art in Mosque Interior// Procedia Engineering 20 (2011) 105 – 109, doi:10.1016/j.proeng.2011.11.144

19. Беккин, Р. И. "Мусульманскую мечеть, как здание культа - закрыть…" (Соборная мечеть Ленинграда в 1932-1940 гг.) // Minbar. Islamic Studies. – 2021. – Т. 14, № 3. – С. 529-555. [Bekkin, R.I. “The Muslim mosque, as a building of worship, should be closed...” (Cathedral Mosque of Leningrad in 1932-1940) // Minbar. Islamic Studies. – 2021. – T. 14, No. 3. – P. 529-555.]– DOI 10.31162/2618-9569-2021-14-3-529-555. – EDN OCRMKZ.
20. Рафиков И. И. Шамаиль в интерьере живописи художников Татарстана// Искусство и образование. – 2019. – № 6(122). – С. 194-201. [Rafikov I. I. Shamail in the interior painting of artists of Tatarstan // Art and education. – 2019. – No. 6(122). – pp. 194-201.] – EDN IULNEJ.
21. Дембич, А. А., Закирова Ю. А. Проблемы пространственного планирования г. Набережные Челны в постсоветский период// Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – № 5. – С. 641-654. [Dembich, A. A., Zakirova Yu. A. Problems of spatial planning of Naberezhnye Chelny in the post-Soviet period // Bulletin of MGSU. – 2020. – T. 15. – No. 5. – P. 641-654.]– DOI 10.22227/1997-0935.2020.5.641-654. – EDN UEBVBJ.

Информация об авторах

Саттаров Айвар Гумарович, кандидат архитектуры, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail : aivarsattar@mail.ru

Information about the authors

Aivar G. Sattarov, Candidate of Architecture, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: aivarsattar@mail.ru

УДК: 712.1
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_133
EDN: HUOOEK

Реконструкция парка имени Урицкого г. Казань: история создания, проблемы, принципы

Л.Ш. Сибгатуллина[1], А.М. Сулейманов[12]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Комфортная городская среда формируется из нескольких составляющих: современное жилье, развитая дорожно-транспортная инфраструктура, торговые и общественные центры, объекты образования и здравоохранения, а также благоустроенные внутригородские озелененные территории: парки и скверы. В этой связи значимым является развитие рекреационных парковых территорий внутри городов. Целью статьи является рассмотрение комплекса мероприятий по реконструкции парка им. Урицкого. Задачи исследования: изучение истории возникновения парка, проекта реконструкции территории, формулировка основных принципов создания комфортных общественных пространств.
Результаты. Был проведен анализ исторических предпосылок развития рекреационной территории, которая появилась вокруг озера естественного происхождения. Проектирование работ по реконструкции территории выполнено на базе общественных слушаний для учета мнения большинства жителей данного района. Таким образом, были сформулированы следующие принципы развития общественных городских пространств: функциональное зонирование, вовлеченности граждан; экологическое благоустройство. *Выводы*. Полученные результаты на базе рассмотренных принципов способствуют формулировке эффективных рекомендаций по реконструкции других рекреационных территорий внутри городов.

Ключевые слова: реконструкция, парк, благоустройство, рекреационная территория

Для цитирования: Сибгатуллина Л.Ш. Сулейманов А.М. Реконструкция парка имени Урицкого г. Казань: история создания, проблемы, принципы // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 133-142, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_133, EDN: HUOOEK

Reconstruction of the Uritsky Park in Kazan: history of creation, problems, principles

L.Sh. Sibgatullina [1], A.M. Suleymanov [12]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* The creation of a comfortable living environment for city residents is directly related to the availability of areas for joint recreation and social contacts. People have the opportunity to meet and communicate in theaters, exhibition spaces, shopping centers and cafes, gyms, but the most complete interaction between people and recreation is possible, in our opinion, only in nature. In this regard, the development of recreational park areas within cities is significant. The purpose of the article is to consider a set of measures for the reconstruction of the Uritsky Park. The research objectives are studying the history of the

park, the project for the reconstruction of the territory, formulating the basic principles for creating comfortable public spaces.
Results. The analysis of the historical prerequisites for the development of the recreational area was carried out - it appeared around a lake of natural origin. The design of works for the reconstruction of the territory was carried out on the basis of public hearings to take into account the opinions of the majority of residents of the area. Thus, the following principles for the development of public urban spaces were formulated: functional zoning, citizen involvement; environmental improvement. *Conclusions.* The results obtained on the basis of the considered principles contribute to the formulation of effective recommendations for the reconstruction of other recreational areas within cities.

Keywords: reconstruction, park, landscaping, recreational area

For citation: Sibgatullina L.Sh., Suleymanov A.M. Reconstruction of the Uritsky Park in Kazan: history of creation, problems, principles // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 133-142, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_133, EDN: HUOOEK

1. Введение

Формирование комфортной среды для жизни горожан напрямую связано с наличием территорий для совместного отдыха, социальных контактов. Люди имеют возможность встретиться и пообщаться в театрах, выставочных пространствах, в торговых центрах и кафе, в спортзалах, но наиболее полное взаимодействие людей, отдых возможны, на наш взгляд, только на природе. В этой связи значимым является развитие рекреационных парковых территорий внутри городов [1-3]. Картографирование как метод исследования является одним их наиболее востребованных при рассмотрении больших рекреационных территорий современных городов [4,5]. Зарубежные авторы обращают внимание на создание системы мониторинга привлекательности парков для сравнения ожиданий и результатов их функционирования [6-8]. Отдельные исследования посвящены изучению безопасности детского рекреационного пространства в городских парках [9].

Многие российские авторы изучают вопросы, связанные с опытом реконструкции уже существующих парков [10-11]. Не менее интересным являются вопросы преобразования промышленных территорий в городские парки отдыха [12]. Исследователи подчеркивают: развитие рекреационных зон делает городскую среду привлекательной не только для жителей, но и для гостей, увеличивает туристический потенциал места [13-15]. Вопросы дизайна при формировании комфортных зеленых городских пространств также являются актуальными [16,17].

Таким образом, целью статьи является рассмотрение комплекса мероприятий по реконструкции парка им. Урицкого в г. Казань и в выявлении основных принципов его проектирования. Объектом исследования является территория парка им. Урицкого Целью исследования является рассмотрение комплекса мероприятий по реконструкции рассматриваемого парка. Задачи: изучение истории возникновения парка, разработка проекта реконструкции территории, формулировка основных принципов создания комфортных общественных пространств.

2. Материалы и методы

В качестве основного метода исследования выбран метод архитектурно-строительного проектирования работ по реконструкции и обустройству общественных пространств (рекреационная зона – парк им. Урицкого г. Казань) в муниципальных образованиях на базе применения графических программ. Кроме того, были использованы картографический метод исследования и метод обобщения отечественного и зарубежного опыта в области развития внутригородских рекреационных территорий, метод натурного обследования территорий и объектов, метод предварительных общественных слушаний. Для выявления сильных и слабых сторон реконструированного

парка было проведено анкетирование среди посетителей парка молодого возраста. Результаты обработаны с использованием электронных таблиц Excel.

Порядок выполнения натурного исследования выглядит следующим образом:

1. визуальный осмотр объекта: фактические условия эксплуатации элементов благоустройства, увлажненные участки, коррозия и др.;

2. инструментальный контроль технического состояния: проводился визуальный осмотр конструкций и сооружений, проводилась оценка их состояния по прочности, безопасности и долговечности; проводился визуальный осмотр откосов канала на предмет разрушения существующего бетонного укрепления от природно-климатических факторов и отсутствия систематического содержания.

Метод предварительных общественных слушаний включает в себя:

1. размещение проекта на официальном сайте в государственной или муниципальной информационной системе;

2. проведение встреч участников общественных публичных слушаний;

3. оформление протокола по результатам проведения;

4. опубликование заключения.

3. Результаты и обсуждение

История парка им. Урицкого начинается со строительства дома культуры им. Урицкого (в настоящее время ЦКС «Московский») в 1961 году. В советское время вокруг парка был построен поселок для инженерно-технических работников авиационной промышленности.

Изначально центральным объектом парка являлось озеро природного происхождения. В результате последующего благоустройства озера, дно и склоны были укреплены бетонными плитами. От основного водоема отходит канал, который изначально был длиннее и доходил до дальней части парка. О его существовании напоминает глубокий котлован в западной части парка. В разное время в парке существовали аттракционы, качели, прокат лодок, танцевальная площадка с оркестровой «ракушкой», аллея скульптур, теннисный корт, павильон для продажи газированной воды. Парк им. Урицкого – это любимый парк жителей всего района, которые хранят память о том, как они проводили здесь детство и юношество. Теплые воспоминания о пеших прогулках по тенистым аллеям, катаниям на велосипедах, играм в мяч. Летом приятные прогулки по озеру и зимние катания на коньках и лыжах (рис.1).

а) б)

Рис.1. Парк Урицкого в середине и конце XX века: а) горбатый мост; б) кафе «Антошка» (Источник:https://history-kazan.ru/kazan-vchera-segodnya-zavtra/tochka-na-karte-goroda/15974-ostrovok-prirody-sred-shumnogo-goroda)

Fig.1. Uritsky Park in the middle and end of the 20th century: a) humpback bridge; b) cafe "Antoshka" (Source: https://history-kazan.ru/kazan-vchera-segodnya-zavtra/tochka-na-karte-goroda/15974-ostrovok-prirody-sred-shumnogo-goroda)

Расположение парка им. Урицкого на окраине, далеко от центра не снижает его привлекательности, создает благоприятный климат для развития района в условиях полицентричности города Казань [18].

В начале XXI назрела необходимость в реконструкции парка им. Урицкого и в 2015 году было принято решение о реализации работ по благоустройству территории. В процессе реконструкции сохраняются основные элементы этой исторически сложившейся территории (ландшафт, водоемы, пешеходные коммуникации, архитектурные и технические объекты и т.д.). Эскизным проектом была определена основная концепция реконструктивных работ в парке, которая заключалась в создании комфортной, рекреационной зоны, обеспечивающей максимальное привлечение в зону отдыха разных групп населения. После этого было выполнено зонирование парка по возрастным группам и территориям по интересам. К детской зоне относятся зона котлована, экстрим парка, детские площадки. К спортивной зоне – беговые дорожки, площадки workout, мини-футбола, теннисный корт и пункт проката спортинвентаря. К зоне общего досуга – территория озера с каналом, лесной массив с площадками для выгула собак, амфитеатр, кафе, дом культуры.

После формирования эскизного проекта были проведены публичные слушания на территории парка с участием жителей данного района. Архитектурная группа представила на обсуждение эскизный проект и его решение. Жители района задавали архитекторам вопросы, касающиеся будущего благоустройства этого парка. В ходе обсуждений были отобраны наиболее ценные замечания и предложения, которые вошли обновленный эскизный проект. Итоговый эскизный проект был согласован МКУ «Комитетом внешнего благоустройства ИК МО г. Казани», администрацией Московского и Кировского района г. Казани, а также Помощником Президента Н.Л. Фишман[1].

Следующим, важнейшим, этапом в реализации проекта была разработка рабочей документации по благоустройству парка. Организацией ООО «ПЦ Град» был выполнен комплекс инженерно-геодезических изысканий необходимых для проектирования. Реконструкцией были затронуты откосы существующего озера и примыкающего к нему канала. Откосы в озере и канале представляли собой сборные железобетонные плиты, уложенные вплотную друг к другу (рис.2). Проектным решением предусмотрено устройство поверх существующих плит монолитной железобетонной рубашки с вклеиванием в нее гальки крупностью 40 – 70 мм. Капитальному ремонту были подвергнуты три пешеходных моста через канал, была выполнена их декоративная подсветка и устройство под ними искусственных изливов в виде стекающих капель воды.

Рис. 2. Откосы водоема
(иллюстрация авторов)
Fig.2. Slopes of the reservoir
(illustration by the authors)

[1] https://kzn.ru/meriya/ispolnitelnyy-komitet/upravlenie-arkhitektury-i-gradostroitelstva-ispolnitelnogo-komiteta-g-kazani/struktura-upravleniya/otdel-rassmotreniya-proektov-/

Из трех мостов наибольшее внимание пришлось уделить, первому мосту с которого открывается вид на водоем. В результате возникновения дополнительной нагрузки на пролетное строение от появления на перилах моста «замочков любви», а также кустарно выполненных фундаментов, произошел крен пролетного строения в направлении озера. Реконструкцией предусмотрено устройство опор моста, демонтаж замков восстановление пролетного строения и декоративная отделка фасадов искусственного сооружения.

Обязательным элементом любого парка является формирование тротуарно-тропиночной сети [19]. Основой ее являлась тропиночная сеть, сформированная ранее. В результате реконструкции парка эта сеть была дополнена новыми тропинками двух вариантов. Для первого варианта было выполнено устройство прогулочных и велосипедных дорожек в асфальте и резиновой крошке. Второй – представляет собой тропинки из дощатого настила. Зоны торговли обустроены брусчаткой.

Для возможности своевременного орошения труднодоступных участков парка было запроектировано и выполнено устройство искусственного полива. Для этого вода из скважины поступала в резервуар, а затем, с помощью насоса, подавалась в систему полива для орошения. Для обеспечения безопасности, комфортности и освещенности парка, независимо от времени суток, в нем были выполнены работы по устройству освещения и видеонаблюдения.

Территория парка, согласно задумки архитекторов, была разделена на тематические зоны: детские игровые зоны, зоны торговли, спортивные площадки, зона медитации и занятия йогой, скейт-площадка, зоны отдыха, амфитеатр, территория выгула домашних животных, аллея влюбленных, комната матери и ребенка, пункт проката спортивного инвентаря, памятники участникам ВОВ и инженерно-техническим работникам авиационной промышленности завода ОАО «КМПО», а также тротуарно-тропиночная сеть, соединяющая их в одно целое. Для большей привлекательности игровых зон их дополнительно оснастили игровым оборудованием. Установили перголы, скамейки и урны.

Все элементы парка выполнены в едином архитектурном стиле, сооружения и оборудования, расположенные в нем, гармонично вписываются в природный ландшафт. Экостиль, выбранный дизайнерами и архитекторами, отразился в конструкциях амфитеатра, различных пергол, пункта проката, откосах водоема и канала, лестничных спусков, тропиночной сети, торговых павильонов, скамеек и урн. Экодизайн предполагает использование материалов естественного происхождения, таких как, дерево, камень, галька и пеньковые канаты [20]. Ярким примером данного стиля является конструкция перголы. Пергола, конструктивно, изготовлена из металлокаркаса, которая представляет собой навес на наклонных опорах, обшитых деревом (рис. 3).

Рис.3. Пергола
(иллюстрация авторов)
Fig.3. Pergola
(illustration by the authors)

Изюминкой парка стал котлован, в котором расположен комплекс игровых зон. Доступность игровой зоны обеспечена двумя спусками, выполненными в асфальтобетонном покрытии. Водоотвод на спусках обеспечен за счет дренажных колодцев, расположенных в его основании. Откосы спусков в котлован выполнены из резиновой кошки для обеспечения травмобезопасности. Зона спрятана от ветров, хорошо освещена центральным прожектором. На площадке расположены разнообразные устройства для игр и отдыха. Такие как: горки, качели, лестницы, веревочные подъемы двух видов и подиум. В центральной части котлована, возле прожектора предусмотрена установка искусственной елки и иллюминации для нее. Ранее не кем не востребованная зона стала местом притяжения не только для детей, но и для их родителей. Рядом с котлованом, недалеко от спортивной площадки нашел свое место скейт-парк. Он представляет собой бетонную площадку с разнообразным рельефом, которая освещена по периметру мачтами освещения (рис. 4).

Рис.4.Детские горки
(иллюстрация авторов)
Fig. 4. Children’s slides
(illustration by the authors)

Реконструкция парка им. Урицкого длилась три года с 2015 по 2017 года. За время реконструкции парк разительно изменился и стал местом притяжения жителей г. Казани и гостей города. На текущий момент можно сделать вывод о том, что с момента задумки до момента воплощения проект парка менялся много раз, становясь с каждым разом все лучше, и приобретал неповторимое очарование. При этом проектировщики каждый раз придерживались следующих принципов развития общественных городских пространств: функциональное зонирование, вовлеченности граждан; экологическое благоустройство (табл.1).

Таблица 1

Принципы проектирования общественных пространств внутри города

Наименование принципа	Реализация принципа
Принцип максимального сохранения исторических элементов	Бережное отношение к сложившемуся ландшафту, водоемам, зеленым насаждениям, историческим архитектурным и техническим объектам, сети дорожных коммуникаций
Принцип функционального зонирования	Зонирование парка по возрастным группам и территориям по интересам: детская, спортивная и обще-досуговая зоны
Принцип вовлеченности граждан	Соучаствующее проектирование – метод проектирования общественных пространств с привлечением жителей в результате организации воркшопов, публичных слушаний и других мероприятий.

Окончание таблицы 1

Принцип экологического благоустройства	Использование материалов естественного происхождения, таких как, дерево, камень, галька и пеньковые канаты. Использование переработанных отходов при изготовлении скамеек, резиновых покрытий беговых дорожек. Установка контейнеров для раздельного сбора мусора.

С момента проведения работ по реконструкции рассматриваемой рекреационной зоны прошло 6 лет. Важно знать, в каком направлении следует развивать парк дальше, в связи с этим в течение 2023 года был проведен опрос среди посетителей парка. Из 101 опрашиваемого 86% составила молодежь в возрасте от 18 до 40 лет. 52 % респондентов считают парк им. Урицкого визитной карточкой Московского района г. Казани: 75% выбирают его для совершения пеших прогулок,10 % – для занятий спортом и 12 % – для отдыха на природе.

Среди предлагаемых мероприятий по улучшению парка им. Урицкого можно выделить: увеличение освещенности, обновление детского городка, установка дополнительных лавочек, фонарей, урн и прокладка новых дорожек (табл. 2).

Таблица 2

Мнения опрашиваемых относительно необходимых мероприятий по дальнейшему развитию парковой территории

Номер п/п	Наименование	Количество проголосовавших, в % от общего числа опрашиваемых
1.	Увеличение освещенности	67 %
2.	Обновление детского городка	63 %
3.	Установка дополнительных лавочек, фонарей, урн и прокладка новых дорожек	58%
4.	Устройство стационарной разветвленной сети закусочных и сувенирных лавок	15 %

4. Заключение

1. Таким образом, был проведен анализ исторических предпосылок развития рекреационной территории– она появилась вокруг озера естественного происхождения

2. Изучены основные элементы проекта реконструкции парка им. Урицкого: разделение территории с максимальным вовлечением в зону отдыха различных групп населения; формирование тротуарно-тропиночной сети; применение единого экостиля при создании конструкций амфитеатра, различных пергол, пункта проката, откосах водоема и канала, лестничных спусков, тропиночной сети, торговых павильонов, скамеек и урн с использованием материалов естественного происхождения.

3. Сформулированы следующие принципы развития общественных городских пространств: сохранения исторической идентичности реконструируемого объекта, функциональное зонирование, вовлеченности граждан; экологическое благоустройство

Список литературы / References

1. Stepanchuk A., Salyakhova M., Salyakhova V. Preserving identity while reorganizing urban spaces// E3S Web of Conferences Volume 274 (2021): 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 1017. – DOI 10.1051/e3sconf/202127401017. – EDN ZBETKE.
2. Копсова Т. П., Бурова Т. Ю. Моделирование зеленого фильтра в общегородской структуре // Жилищное строительство. – 2007. – № 4. – С. 16-21.

[Kopsova T. P., Burova T. Yu. Modeling of a green filter in citywide structures // Housing Construction. – 2007. – No. 4. – P. 16-21.]– EDN HZELWF.

3. Рагимов А. А., Довганюк Е. С. Проект реконструкции благоустройства и озеленения фрагмента парка 50-летия Октября (г. Москва)// Вестник ландшафтной архитектуры. – 2019. – № 18. – С. 75-77
   [Ragimov A. A., Dovganyuk E. S. The project of reconstruction of improvement and landscaping of a fragment of the park of the 50th anniversary of October (Moscow)// Bulletin of landscape architecture. – 2019. – No. 18. – P. 75-77]. – EDN TMGQKR.
4. Magdalena Biernacka, Jakub Kronenberg, Edyta Łaszkiewicz, Piotr Czembrowski, Vahid Amini Parsa, Daria Sikorska. Beyond urban parks: Mapping informal green spaces in urban–peri-urban gradient//Land Use Policy 131 (2023) 106746, https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106746
5. Andreas Skriver Hansen, Vidar Glette, Javier Falla Arce. Mapping recreational activities in coastal and marine areas – PPG findings from western Sweden// Ocean and Coastal Management 205 (2021) 105567, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105567
6. Magdalena Biernacka, Jakub Kronenberg, Edyta Łaszkiewicz. An integrated system of monitoring the availability, accessibility and attractiveness of urban parks and green squares// Applied Geography 116 (2020) 102152, https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102152
7. Michael J. Emslie, Murray Logan, David H. Williamson, Kate Osborne, Garry R. Russ
1. Hugh P.A. Sweatman. Expectations and Outcomes of Reserve Network Performance following Re-zoning of the Great Barrier Reef Marine Park// Current Biology. March 26, 2015, https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.01.073
8. Zhenhua Zang, Zhiqiang Guo, Xinyue Fan, Mei Han, Ao Du, Weihua Xu, Zhiyun Ouyang. Assessing the performance of the pilot national parks in China// Ecological Indicators 145 (2022) 109699, https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109699
9. Nannan Dong, Jian Chen, Shenghong Zhang. Safety Research of Children's Recreational Space in Shanghai Urban Parks// Procedia Engineering 198 (2017) 612 – 621, doi:10.1016/j.proeng.2017.07.115
10. Пимонова, Д. А. Виртуальная реконструкция ландшафтного парка усадьбы Бобринских в Богородицке: источники, методы и технологии исследования// Историческая информатика. – 2021. – № 2(36). – С. 115-133
    [Pimonova, D. A. Virtual reconstruction of the landscape park of the Bobrinsky estate in Bogoroditsk: sources, methods and research technologies// Historical computer science. – 2021. – № 2(36). – P. 115-133]. – DOI 10.7256/2585-7797.2021.2.36035. – EDN ZHPSFZ.
11. Максимова М. В., Маматулина А. М.Реконструкция городских парков культуры и отдыха советского периода// Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 12. – С. 61-65.
    [Maksimova M.V., Mamatulina A.M. Reconstruction of city parks of culture and recreation of the Soviet period // Industrial and civil construction. – 2019. – No. 12. – P. 61-65] – DOI 10.33622/0869-7019.2019.12.61-65. – EDN HUAURW.
12. Фанг Л., Москалькова Ю. Г. Трансформация промышленной зоны в городской парк: реконструкция зданий // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 2(70). – С. 135-145.
    [Fang L., Moskalkova Yu. G. Transformation of an industrial zone into a city park: reconstruction of buildings // Scientific journal of construction and architecture. – 2023. – No. 2(70). – P. 135-145.] – DOI 10.36622/VSTU.2023.70.2.012. – EDN NOJDFM.
13. Долгова В. О. Заповедники и национальные парки: проблемы сохранения природы и историко-культурного наследия, развития туризма // Архитектура и строительство России. – 2020. – № 3(235). – С. 92-97.
    [Dolgova V. O. Nature reserves and national parks: problems of nature conservation and historical and cultural heritage, tourism development // Architecture and construction of Russia. – 2020. – No. 3(235). – P. 92-97]– EDN JLIKAT.

14. Шагиахметова Э. И., Медяник Ю. В. Оценка инвестиционных вложений в развитие рекреационных зон города Казани// Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2019. – № 12(130). – С. 86.
[Shagiakhmetova E.I., Medyanik Yu.V. Assessment of investments in the development of recreational zones of the city of Kazan // Management of economic systems: electronic scientific journal. – 2019. – No. 12(130). – P. 86.] – EDN QBKKAE.
15. Яо Л. М., Яо М. К., Еманова Ю. Г., Карамова К. Х. Реновация общественных пространств: опыт республики Татарстан// Архитектура и строительство России. – 2022. – № 3(243). – С. 106-107.
[Yao L. M., Yao M. K., Emanova Yu. G., Karamova K. Kh. Renovation of public spaces: the experience of the Republic of Tatarstan // Architecture and construction of Russia. – 2022. – No. 3(243). – P. 106-107] – EDN DHRJBK.
16. Vittorino Belpolitia, Hasim Altanb, Hashem Alsebaia, Omar Melahfcia. Shaping the microclimate: CFD-assisted design optimization to enhance the outdoor comfort of a recreational complex in the UAE// Procedia Manufacturing 44 (2020) 84–91, http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/
17. Ибрагимова, Н. И. Решение экопроблем средствами ландшафтного дизайна // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. – 2022. – № 1-2. – С. 184-188
[Ibragimova, N. I. Solving ecological problems by means of landscape design // Decorative art and the subject-spatial environment. Bulletin of MGHPA. – 2022. – No. 1-2. – P. 184-188]. – DOI 10.37485/1997-4663_2022_1_2_184_188. – EDN YYZGBR.
18. Закирова Ю. А., Хуснутдинова С. Р., А. А. Дембич. Полицентричность города Казань: возможности и ограничения развития административных районов// Географический вестник. – 2018. – № 2(45). – С. 62-71.
[Zakirova Yu. A., Khusnutdinova S. R., A. A. Dembich. Polycentricity of the city of Kazan: opportunities and limitations for the development of administrative districts // Geographical Bulletin. – 2018. – No. 2(45). – P. 62-71.] – DOI 10.17072/2079-7877-2018-2-62-71. – EDN EKZLNX.
19. Михайлов С. М., Белов М. И. Принципы организации предметно-пространственной среды пешеходных улиц (1960-1980-е гг.) // Мир науки, культуры, образования. – 2010. – № 6-2(25). – С. 80-83.
[Mikhailov S. M., Belov M. I. Principles of organizing the subject-spatial environment of pedestrian streets (1960-1980s) // World of science, culture, education. – 2010. – No. 6-2(25). – P. 80-83] – EDN NDPCTH.
20. Koshkin D., Kudryasheva E., Khafizov R. Salyakhutdinov R., Ibragimova A. Temporary identification style of urban areas // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021): 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, April 21–28, 2021. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 1010. – DOI 10.1051/e3sconf/202127401010. – EDN JTCFWL.

Информация об авторах

Сибгатуллина Лейсан Шамилевна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail : leiseb@mail.ru
Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
E-mail : alfred-sulejmanov@yandex.ru

Information about the authors

Leysan Sh. Sibgatullina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: leiseb@mail.ru

Alfred M. Suleymanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corr.-m. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru

УДК: 72.035
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_143
EDN: IBWRAT

Доходные дома Старо-Татарской слободы Казани: выявление архитектурной идентичности на примере доходного комплекса Апанаевского подворья

Д.А. Надырова[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* В статье исследуются доходные дома и комплексы рубежа XIX и XX столетий в этническом районе Казани - Старо-Татарской слободе. В XXI в. они стали приходить в аварийное состояние, часть из них полностью утрачена.
Актуальность работы обусловлена необходимостью исследования и изучения доходных домов и усадебных комплексов в застройке Старо-Татарской слободы для обеспечения её сохранности и развития в будущем. Целью исследования является выявление их архитектурной идентичности на примере Апанаевского подворья.
Задачи исследования: выявить идентификационные коды доходных комплексов (закономерности расположения объектов в структуре Старо-Татарской слободы, выявление архитектурных особенностей, характер функционального заполнения доходных комплексов и зданий, определение идентичности исследуемого объекта).
Результаты. Комплексный анализ материалов натурных обследований объекта и историко-архивных документов показал многофункциональный характер доходных комплексов Старо-Татарской слободы. Были определены идентификационные коды Апанаевского подворья: градостроительный, архитектурно-исторический, функциональный, национально-этнический, событийный, раскрывающие его идентичность.
Выводы. Подавляющее большинство доходных комплексов располагалось в районе Сенной площади Старо-Татарской слободы. Как правило, главный объём комплекса решался в эклектичном стиле, позднее - в модерне, оставался неоштукатуренным в красном или крашеном кирпиче. Значение исследования для Казани и Республики Татарстан заключается в выявлении архитектурной идентичности доходных зданий комплексов, проявляющейся в идентификационных кодах. Доходные комплексы Старо-Татарской слободы имеют ценность, как архитектурные объекты, так и как памятники, несущие в себе нематериальную составляющую идентичности татарской культуры и истории. Их утрата негативно отразится на историческом облике Казани и приведёт к потере устойчивого развития данного района.

Ключевые слова: доходный дом**,** Старо-Татарская слобода, Апанаевское подворье, доходный комплекс, идентичность в архитектуре, архитектурное наследие, история архитектуры, Сенная площадь

Для цитирования: Надырова Д.А. Доходные дома Старо-Татарской слободы Казани: выявление архитектурной идентичности на примере доходного комплекса Апанаевского подворья // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.143-152, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_143, EDN: IBWRAT

Commercial apartment buildings of the Old Tatar Quarter of Kazan: - definition of architectural identity on the example of the commercial apartment complex of the Apanaevsky Compound

D.A. Nadyrova[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. The article examines commercial apartment buildings and complexes of the turn of the XIX and XX centuries in the ethnic district of Kazan - the Old Tatar quarter. In the XXI century they began to fall into disrepair, some of them are completely lost. The relevance of the work is due to the need to research, study and preserve commercial apartment buildings and estate complexes in the development of the Old Tatar Qarter to ensure its sustainable development in the future. The purpose of the study is to identify their architectural identity using the example of the Apanaevsky Compound.
The research objectives: to find out the identification codes of commercial apartment complexes (regularities of the location of objects in the structure of the Old Tatar Quarter, identification of architectural features, the nature of the functional filling of commercial apartment complexes and buildings, determination of the identity of the object under study).
Results. A comprehensive analysis of the materials of object's field surveys and historical and archival documents showed the multifunctional nature of the commercial appartment complexes of the Old Tatar Quarter. Following identification codes of the Apanayevsky Compound were determined: urban planning, architectural-historical, functional, national-ethnic, event, revealing its identity.
Conclusions. The vast majority of commercial apartment complexes were located in the area of the Sennaya Square of the Old Tatar Quarter. As a rule, the main building of the complex was solved in an eclectic style, later - in Art Nouveau, remained unplastered in red or painted brick. The significance of the research for Kazan and the Republic of Tatarstan is to identify the architectural identity of the commercial apartment buildings of the complexes, manifested in identification codes. The commercial apartment complexes of the Old Tatar Quarter have value both as architectural objects and as monuments bearing an intangible component of the identity of Tatar culture and history. Their loss will negatively affect the historical appearance of Kazan and lead to the loss of sustainable development of this area.

Keywords: commercial apartment house, Old Tatar Quarter, Apanaevsky Compound, commercial apartment complex, identity in architecture, architectural heritage, history of architecture, Sennaya square

For citation: Nadyrova D.A. Commercial apartment houses of the Old Tatar Quarter of Kazan: - definition of architectural identity on the example of the commercial apartment complex of the Apanaevsky Compound // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.143-152, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_143, EDN: IBWRAT

1. Введение

В настоящее время сохранившиеся доходные дома конца XIX - начала XX вв. являются одним из распространенных типов застройки историко-архитектурной среды Старо-Татарской слободы. Для сохранения самобытности и развития этого уникального района Казани необходимо подробное изучение идентичности данных объектов, поскольку это поможет использованию их на современном этапе и в будущем. Проблемам выявления региональной идентичности Татарстана и Казани был посвящен ряд работ.

В своей статье Надырова Х.Г. рассматривает проблему возрождения архитектурной идентичности Старо-Татарской слободы и видит одним из решений восстановление её

прежней среды и сохранение остатков аутентичной исторической слободской застройки с обязательным условием сохранения и развития идентификаторов поселения [1].

Вопрос выявления идентичности исследовался и на культовых сооружениях Татарстана [2]. Статья посвящена анализу развития и выявления идентичности мечетей региона. Авторы изучают изменения в архитектуре мечетей Татарстана, произошедшие за три десятилетия, начиная с 90-х гг. XX века до настоящего времени, от воссоздания исторических зданий, утраченных в советский период, до строительства современных мусульманских культовых сооружений и выявляют идентификаторы, характеризующие своеобразие архитектуры мечетей конца XX - начала XXI веков данного региона.

Опубликованные во втором десятилетии XXI века исследования российских учёных по теоретическим проблемам идентичности историко-архитектурной среды подтверждают важность существования и развития архитектурной идентичности. В своей работе Глебова Н.М. и Большаков А.Г. исследуют уличную застройку исторической части Иркутска с целью выявления системы идентификационных признаков иркутской архитектуры. В результате исследования было выявлено наличие характерных признаков в застройке города, определены критерии и принципы архитектурной идентичности г. Иркутска, выявлены наиболее типичные архитектурные образы, предложен метод преемственности в проектировании, который позволит формировать архитектурную идентичность [3]. Подобные работы были опубликованы и зарубежными исследователями, в том числе посвященные пониманию национальной идентичности в архитектуре [4-5].

Старо-Татарская слобода Казани была образована в середине XVI в. на берегу о. Кабан для проживания преимущественно татарского населения. С конца XIX века в слободу стали также входить южная часть Забулачья с Сенным базаром, где состоятельные татарские семьи покупали домовладения с целью строительства и сдачи в аренду помещений под жилые номера и коммерческие цели. Сенной базар формировался, начиная со второй половины XVIII (согласно принятому в 1768 году регулярному плану города) и просуществовал до 30-х гг. XX в. В 1845 г. вблизи Сенного рынка была построена Сенная мечеть. Со второй половины XIX века Сенная площадь, на которой размещался рынок, становится центром торговой и деловой жизни татарского населения. В конце XIX – начале XX века Сенная площадь стала центром духовной и общественной жизни татар.

Планировку и застройку Старо-Татарской слободы подробно исследовали в своих работах казанские учёные. В одной из работ Айдаровой Г.Н. рассматриваются вопросы преемственности традиций деревянной жилищной архитектуры в формировании Старо-Татарской слободы как музея-заповедника и места, где на протяжении веков проживали казанские татары. В статье выявляются особенности формирования деревянных кварталов, предлагаются рекомендации по развитию архитектурной среды музея-заповедника [6]. Статьи Нугмановой Г.Г. посвящены истории формирования застройки Сенной площади Казани, её развитию и роли в общественно-политической и культурной жизни татар [7-8]. Также проводились исследования городских усадеб, расположенных в центре Старо-Татарской слободы, выявлялась их значимость в формировании архитектурного облика слободы [9].

Доходные дома и комплексы Старо-Татарской слободы как типы зданий недостаточно изучены и в совокупности не рассматривались. В статьях по истории архитектуры Казани можно встретить их упоминания [8]. Казанскими реставраторами написаны отдельные статьи, посвященные истории возведения в XIX в. и реставрации в XXI в. таких объектов, как номера «Амур» на ул. Московской (бывший доходный дом братьев Юнусовых) и дом «Шакир-солдата» (бывший доходный дом Ш. Шамсутдинова) на ул. Г. Тукая [10-11]. В работах описываются этапы строительства и перестроек зданий, детали проведения реставрационных работ и современного приспособления объектов.

Доходные комплексы Старо-Татарской слободы Казани формировались со второй половины XIX и функционировали до конца 1910-х годов. Как правило, в структуру домовладения помимо главного доходного дома входили разные по функциональному наполнению постройки, часть из которых также сдавалась внаём. Такая единая объемно-

пространственная композиция домовладения представляла собой многофункциональный доходный комплекс.

С 90-х гг. XX века историко-архитектурная среда Старо-Татарской слободы претерпела значительные изменения. Была утрачена часть доходных домов и внутридворовых построек, входивших в состав бывших доходных комплексов.

Цель исследования: выявить архитектурную идентичность доходных комплексов Старо-Татарской слободы на примере Апанаевского подворья.

Задачи исследования: определить основные точки строительства доходных домов на территории Старо-Татарской слободы, выявить их архитектурные особенности, характер функционального наполнения доходных комплексов, установить архитектурную идентичность исследуемого объекта.

2. Материалы и методы

При выполнении работы методика исследования включала натурное обследование территории слободы, методы сравнительного, градостроительного, композиционно-стилистического, библиографического и других видов анализа. Большое значение имели архивные исследования [12-13]. Автором было проведено натурное обследование территорий бывших домовладений Старо-Татарской слободы с детальной фотофиксацией современного состояния зданий и сооружений. Методом аналитической выборки из рассматриваемого перечня доходных комплексов Старо-Татарской слободы был отобран один для дальнейшего выявления его идентификационных кодов: градостроительного, архитектурно-исторического, функционального, национально-этнического, событийного и других, раскрывающих в совокупности идентичность объекта исследования [1]. При выборе объекта приоритет отдавался наиболее сохранившемуся доходному комплексу с возможностью доступа на его территорию и во внутренние помещения построек. Также рассматривался следующий ряд критериев: комплексность, многофункциональность, историческая значимость, архитектурная выразительность и т.д. Наиболее полно отвечающим заданным условиям является доходный комплекс «Апанаевское подворье» на ул. Московской, 60 (с 1910 г. «Московские номера»).

3. Результаты и обсуждение

Натурное обследование территории Старо-Татарской слободы выявило, что большая часть доходных домов в составе комплексов была возведена в районе Сенного базара. Они были построены по периметру площади и на улицах, входящих в район Сенного базара (рис.1, рис.2). Изучение библиографических материалов и архивных документов из фондов Национального архива РТ, позволило выявить и установить расположение утраченных доходных комплексов, например, доходный дом Галеевых и Утямышевых (гостиница «Караван-сарай» на ул. Сенной (современная ул. Парижская коммуна).

Среди сохранившихся доходных домов Старо-Татарской слободы можно выделить доходные комплексы: С.З. Усманова на пересечении улиц Московская и Фуксовская (ул. Московская, 53/Г. Камала, 6); И. и И. Юнусовых на ул. Московская, 66; И.И. Апакова - М.И. Шамиля - М.М. Галеева на пересечении ул. Парижской Коммуны, 10 и Московская, 72; Апанаевых на ул. Татарстан, 8; Ш. Шамсутдинова (более известный как дом Шакир-солдата) на ул. Габдуллы Тукая, 16; Апанаевское подворье – «Московские номера» на ул. Московская, 60; «Номера «Амур» на ул. Московская, 70.

Установлено, что характер использования доходных комплексов был многофункциональным. В них сочетались жилая, торговая, складская, административная, производственная, развлекательная, образовательная функции, под которые сдавались внаем в разных соотношениях и сочетаниях здания или отдельные помещения. Это было характерно и для других районов Казани. Однако, выявленные идентификаторы позволили выявить определенные отличия в характере доходных домов и комплексов Старо-Татарской слободы.

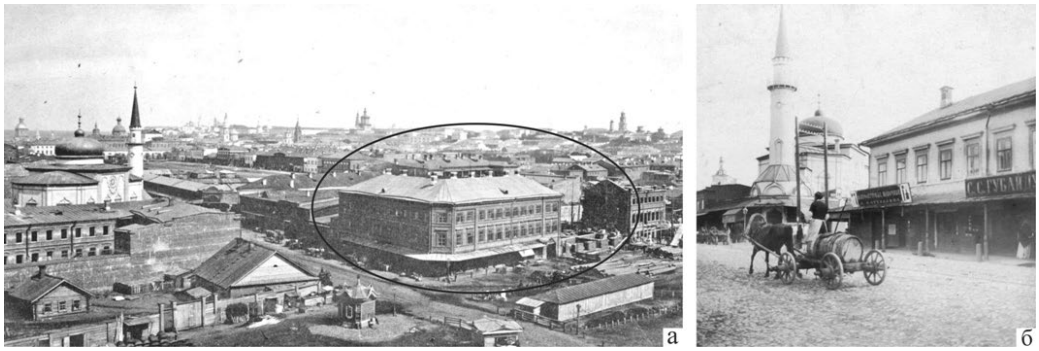


Рис. 1. Сенной базар. а) Вид на трехэтажный доходный дом И.И. Апакова - А.Г. Хусаинова - М.М. Казакова (с нач. XX века номера «Булгар»), б) Фрагмент доходного дома И.И. Апакова - М.И. Шамиля - М.М. Галеева. Фото вторая пол. XIX.

Fig. 1 Sennaya Square. a) View of the three-storey commercial apartment house of I.I. Apakov - A.G. Khusainov - M.M. Kazakov (from the beginning. XX century hotel «Bulgar»), b) A fragment of the commercial apartment house of I.I. Apakov - M.I. Shamil - M.M. Galeev. Photo the second half of XIX. (https://pastvu.com/p/437247, https://pastvu.com/p/444239)

Рис. 2. Сенной базар. Вид на: 1) трехэтажный доходный дом братьев И.Г. и И.Г. Юнусовых, 1877 г., арх. А. Пермяков 2) доходный дом братьев И.Г. и И.Г. Юнусовых (перестроен в 1912 г. под номера «Амур»), 3) доходный дом И.И. Апакова - М.И. Шамиля - М.М. Галеева. Фото кон. XIX – нач. XX вв.

Fig. 2. Sennaya Square. View on: 1) the three-storey commercial apartment house of the brothers I.G. and I.G. Yunusov, 1877, arch. A. Permyakov 2) the commercial apartment house of the brothers I.G. and I.G. Yunusov (rebuilt in 1912 under the hotel "Amur"), 3) the commercial apartment house of I.I. Apakov - M.I. Shamil - M.M. Galeev. Photo end of XIX – beginning XX centuries (https://tripguide.ru/kazan-na-starinnyh-fotografiyah-3.htm)

В ходе исследования были выявлены основные характеристики доходного комплекса «Апанаевское подворье»:

- *Градостроительный идентификатор.* Комплекс расположен на ровном рельефе, на западной стороне Сенной площади, в сомкнутом ряду жилой застройки. Связь с дворовым пространством комплекса осуществлялась через туннель проезда на первом этаже уличного корпуса (рассматриваются границы домовладения, сложившиеся к началу XX века).

- *Архитектурно-исторический идентификатор.* Формирование доходного комплекса происходило с сер. XIX до в нач. XX века в несколько этапов.

а. *Пространственно-композиционную структуру* комплекса формируется основными строениями по периметру и дополнительными постройками по центру внутреннего двора. Апанаевское подворье относится к домовладениям, которые с годами расширялись за счет присоединения к ним соседних участков. Формирование доходного комплекса началось с середины XIX в. с покупки М. Апанаевым усадьбы Е.И. Реутовой под доходный комплекс. В течение полувека велась реконструкция комплекса. В 1885 г. во дворе был построен четырехсекционный многоквартирный жилой дом с квартирами для сдачи в аренду (рис.3а). На первом этаже размещались 16 торговых складов, перекрытых сводами. На 2 и 3 этажах располагались жилые квартиры – по две на лестничной клетке. Позднее участок был расширен с запада и одной стороной стал выходить на Фуксовскую улицу (совр. ул. Г. Камала). Появились новые жилые корпуса [13].

Рис. 3. Доходный комплекс «Апанаевское подворье»: а) Дворовой корпус, 1885 г., фото 2012 г.; б) Современный вид главного дома, фото 2020 г.; в) Генплан бывшего домовладения Апанаевых на 1985 и 1915 гг. и современные границы участка, 2015 г.; Обозначения к генпланам 1 и 2: 1 - 2-х этажный каменный жилой дом, 2 - каменные лавки, 3- каменный флигель, 4 - жилой 3-х этажный флигель, 1855 г., 5 - деревянные холодные службы, 6 - на каменных столбах навесы, 7 - каменные службы, 8, 9, 10 - жилые корпуса; 3: 1. Здание Апанаевского подворья, 1903 г.; 4- 3-х этажный флигель, 1885 г.; 7,8 - предполагаемые исторические корпуса Апанаевского подворья. (иллюстрация авторов)

Fig. 3. The Apanaevs' commercial apartment complex - «Apanaevsky Compound»: a) The courtyard building, 1885, photo 2015; b) The modern view of the main house, photo 2015; c) The General Plan of the former Apanaev household for 1985 and 1915 and the modern boundaries of the site, 2015; Designations for the general plans 1 and 2: 1 - 2-storey stone residential building, 2 - shops, 3 - stone outbuilding, 4 - residential 3-storey outbuilding, 1855, 5 - wooden cold rooms, 6 - sheds on stone pillars, 7 - stone services, 8, 9, 10 - residential buildings; 2015: 1. Building of the Apanaevsky Compound, 1903; 4-3 storey outbuilding, 1885; 7,8 - supposed historical buildings of the Apanaevsky Compound (illustration by the authors)

В 1900-1903 гг. происходит реконструкция, поменявшая облик домовладения. На месте двухэтажного усадебного дома с одноэтажными лавками строится новое трехэтажное здание прямоугольное в плане, при этом старые строения входят в его состав (архитектор неизвестен). Они надстраиваются вторым и третьим этажами и объединяются в один объем (рис.4). В начале XX века участок превратился в большой доходный комплекс с пятью жилыми корпусами, хорошо известный как Апанаевское подворье, а с 1910 г., как «Московские номера».

Рис. 4. Фасад главного дома Апанаевского подворья по ул.Московской на нач. XXв. (иллюстрация автора)
Fig.4. Facade of the main house of the Apanaevsky Compound on Moskovskaya St. at the beginning of XX century (illustration by the author)

б. *Объемно-планировочная структура* комплекса формировалась прямоугольным двором, вокруг которого и по центру располагались жилые и служебные корпуса (рис.3в). В левой половине главного здания располагался арочный сквозной проезд, связывавший Сенной рынок, Московскую улицу и двор комплекса.

в. Объемно-планировочная и архитектурно-стилистическая структура объектов комплекса отражают их функциональное назначение и размещение в комплексе. Дворовые корпуса сохраняют краснокирпичную фактуру и практически лишены декора. Уличный фасад главного корпуса из красного неоштукатуренного кирпича решен в стиле эклектики и сохранил элементы классицистической архитектуры вошедших в его объем построек Реутовой. Прямоугольные окна второго этажа оформлены сандриками двух форм. Окна левой половины дома имеют сандрики и наличники, объединенные в стилизованную ордерную систему. Окна остальной части дома завершаются двускатными и полуциркульными сандриками с модульонами. Окна третьего этажа по всему фасаду обрамлены простыми рамочными наличниками. Фасад расчленен междуэтажными карнизами и тягами.

- *Функциональный идентификатор.* На первом этаже уличного корпуса размещались торговые лавки, верхние этажи занимала гостиница. На первых этажах дворовых корпусов находились складские помещения, верхние этажи - номера. Таким образом, функциональный идентификатор указывал на торгово-жилой и складской характер доходного комплекса, что подтверждает его многофункциональный характер.

- *Национально-этнический идентификатор.* Поскольку комплекс находился в районе Старо-Татарской слободы, то основными жителями доходных домов было татарское население. Рядом находилась Тихвинская церковь, что обусловливало проживание и представителей русского и других народов региона. Таким образом, комплекс был рассчитан на проживание представителей всех национальностей региона. Доходный комплекс принадлежал татарским купцам Апанаевым.

- *Ментальный идентификатор* определялся преобладанием в районе Сенной площади представителей купеческого сословия, татарской интеллигенции, крестьянства, рабочих-ремесленников и т.д.

- *Событийный идентификатор.* Район Сенного рынка Старо-татарской слободы являлся важной градостроительной точкой Казани, и с которым связаны имена выдающихся людей и знаменательные события (посещение А.С. Пушкиным дома профессора К. Фукса, открытие первого татарского театра, первой библиотеки национальной книги и т.д.). Доходный комплекс связан с династией Апанаевых – одной

из древних и богатых татарских фамилий Казани, которую носили купцы, предприниматели, землевладельцы, общественные и религиозные деятели, почетные граждане города, благотворители [14]. Комплекс связан также с именами исторических деятелей. Здесь в начале 1908 г. жил поэт Габдулла Тукай. В разные годы здесь проживали татарские революционеры Х. Ямашев, М. Вахитов и др.

Исследование показало, что объемно-планировочная структура доходных комплексов формировалась внутренним двором, вокруг которого располагались жилые, служебные и хозяйственные корпуса. В главном доме комплекса, выходящего фасадом на улицу, как правило, располагались на верхних этажах квартиры и комнаты для сдачи внаём или номера и гостиницы, редакции газет, издательства, типография, кабинет врача, библиотека, а на первом этаже – помещения общественного питания, лавки и магазины.

Анализ доходных домов Старо-Татарской слободы показал, что, помимо жилой, большое значение имела культурно-образовательная функция. В доходных комплексах располагались редакции татарских газет и журналов, типографии, библиотеки. Г.Г. Нугманова в своей статье пишет о впервые возникшей в татарском обществе потребности в общественных зданиях, но за отсутствием таковых потребность в них удовлетворялась за счёт расположенных здесь доходных домов [8]. В них снимали квартиры для проживания известные татарские поэты, актёры, писатели и другие представители национальной культуры. Так, в номерах «Амур» и «Булгар» (доходный дом И.И. Апакова - А.Г. Хусаинова - М.М. Казакова, снесён в 2008 г.) проживал поэт Г. Тукай. Особую роль в уровне идентичности комплексов играла нематериальная составляющая (дух места) идентичности, поскольку доходные дома Старо-Татарской слободы были тесно связаны с исторически важными событиями общественной и культурной жизни татар.

Выявленные в результате проведенного исследования Апанаевского подворья идентификаторы являются проявлением идентичности историко-архитектурной среды города на уровне «домовладение – комплекс – архитектурный объект». Сравнительный анализ доходного комплекса «Апанаевское подворье» с другими многофункциональными доходными комплексами Старо-Татарской слободы позволил выявить объекты с аналогичными или близкими по характеру идентификаторами [15]. Ближайшими аналогами можно выделить комплексы: номера «Булгар» и гостиница «Караван-сарай». Эти комплексы, схожие по объемно-планировочным и архитектурно-стилистическим решениям, можно отнести к объектам, обладающим простой идентичностью, т.е. имеющим распространенный в конкретном городе характер [3]. Однако, учитывая *событийный идентификатор*, следует отметить, что «Апанаевское подворье» обладает важной нематериальной (духовной) составляющей идентичности. В этом случае проявляется определенное несоответствие между материальной (типичной) и нематериальной (особенной) составляющими идентичности.

Используя данную методику, можно исследовать в будущем другие типы зданий Старо-Татарской слободы и других районов Казани, такие как культовые, образовательные, промышленные и т.д.

Выявление идентичности Апанаевского подворья, как и всех доходных домов и комплексов в застройке Старо-Татарской слободы, значимо для сохранения их как объектов культурного наследия данного района, являющегося для современных татар историческим местом развития их национальной истории и культуры.

4. Заключение

В результате проведенного исследования установлено:

1. Основная часть доходных домов Старо-Татарской слободы располагалась в районе Сенного базара. Начиная формироваться с середины XIX века, к 1910-м гг. путем увеличения этажности существующих зданий и возведения новых построек на выкупленных и присоединенных соседних территориях, домовладения превратились в развитые доходные комплексы.

2. В построенных доходных домах в районе Сенной площади помимо гостиниц, номеров и квартир внаем располагались национальные культурно-просветительные, образовательные учреждения (библиотека, Восточный клуб, типография и т.д.). В них проводились значимые для татарского народа светские события и мероприятия с

участием известных деятелей культурной и политической жизни того времени. Таким образом, рассматриваемые доходные дома и комплексы несут в себе важную нематериальную составляющую (дух места) свой идентичности.

3. Апанаевское подворье, как и другие доходные комплексы Старо-Татарской слободы, обладало многофункциональным характером. В нем сочеталась жилая, торговая, складская и др. функции. Уличный фасад главного здания по ул. Московской соответствовал характерной стилистике фасадов других доходных зданий, выполненных из красного неоштукатуренного или окрашенного кирпича. По оформлению можно выделить два типа стилевых направлений: кирпичная эклектика с элементами классицизма или восточных мотивов и модерн. Это составляло характерную особенность доходных домов Старо-Татарской слободы в районе Сенного базара в отличие от оформления доходных комплексов других районов Казани

Список литературы/References

1. Надырова Х.Г. Проблема возрождения идентичности архитектуры Старо-Татарской слободы Казани // Историческая этнология. Научный журнал. Т. 4, № 2. С. 255–263. (2019) DOI: 10.22378/he.2019-4-2.255-263 [Nadyrova Kh. G. The problem of reviving the identity of the architecture of the Old Tatar Quarter of Kazan // Historical ethnology. Scientific Journal. Vol. 4, No. 2. P. 255-263 (2019) DOI: 10.22378/he.2019-4-2.255-263]
2. Nadyrova Kh. G., Nadyrova D.A. Identity of the Architecture of Mosques in Russia in the Late XX – Early XXI Century (as Exemplified by Tatarstan) // International Scientific Conference on SocioTechnical Construction and Civil Engineering (STCCE – 2021), Volume 274 (2021) / Kazan State University of Architecture and Engineering.DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012023
3. Глебова Н.М., Большаков А.Г. Принципы сохранения и формирования архитектурной идентичности в уличной застройке исторической части г. Иркутска. Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019;9(3):606–619. DOI: 10.21285/2227-2917-2019- 3-606-619 [Glebova N.M., Bolshakov A.G. Principles of the preservation and formation of the architectural identity in street housing development in the historical part of Irkutsk. Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2019;9(3):606–619. (In Russ.). DOI: 10.21285/2227-2917-2019-3-606-619]
4. Muhamad Rahmat, Alice Ismail. Review on national identity in architecture through the understanding of its roles, typologies and themes // International Journal of Law Government and Communication, 2022, Vol.7(27). DOI:10.35631/IJLGC.727001
5. Abdulaziz Alzahrani. Understanding the role of architectural identity in forming contemporary architecture in Saudi Arabia //Alexandria Engineering Journal, Volume 61, Issue 12, 2022, Pages 11715-11736. Doi.org/10.1016/j.aej.2022.05.041.
6. Айдарова Г.Н. Деревянные жилые кварталы Казани. Старотатарская слобода: история и современность // Жилищное строительство. 2018. № 12. С. 45-49 [Aidarova G.N. Wooden residential quarters of Kazan. the Old Tatar Quarter: history and modernity // Housing construction. 2018. No. 12. P. 45-49]
7. Нугманова Г.Г. Сенная площадь Казани: история формирования застройки //Татарские слободы Казани: Очерки истории / Салихов Р.Р., Хайрутдинов Р.Р. (Ред). Казань: Изд-во Института истории АН РТ. С. 80–131 (2002) [G. G. Nugmanova. Sennaya Square of Kazan: the history of building development. In: Tatar settlements of Kazan: Essays on History / P. P. Salikhov, P.P. Khairutdinov (Ed.). Kazan: Publishing House of the Institute of History of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, P. 80-131 (2002)]
8. Нугманова Г.Г. Два источника, две составляющие архитектурных практик Казани (вторая половина XIX – начало XX века) // Academia. Архитектура и строительство, № 2, 2019, Стр. 30-37 [Nugmanova G.G. Two sources, two components of architectural practices in Kazan (second half of the 19th – early 20th centuries) // Academia. Architecture and construction. No. 2, 2019, pp. 30-37. DOI:10.22337/2077-9038-2019-2-30-37]

9. Забирова Ф.М., Троепольская Н.Е. Комплекс усадеб как «Машина времени» в Старо-Татарской слободе // Мир искусств: Вестник Международного института антиквариата. №3 (03) (2013) [Zabirova F.M., Troepolskaya N.E. Complex of estates as a «Time machine» in Old Tatar quarter // The World of Arts: Bulletin of the International Institute of Antiques. №3 (03) (2013)]
10. Сайфуллина Л.Ш., Васильева Ю., Хайруллина А.Т. Номера «Амур» в застройке Сенной площади Старо-татарской слободы // Мир искусств: Вестник Международного института антиквариата. №1 (01) (2013) [Sayfullina L.Sh., Vasilyeva Yu., Khairullina A.T. "Amur" rooms in the development of the Sennaya Square of the Old Tatar quarter // The World of Arts: Bulletin of the International Institute of Antiques. №1 (01) (2013)]
11. Сайфуллина Л. Ш. «Усадьба «Шакир-солдата» // Мир искусств: Вестник Международного института антиквариата. №2 (02) (2013) [Sayfullina L. Sh. "The estate of Shakir the Soldier" // The World of Arts: Bulletin of the International Institute of Antiques. №2 (02) (2013)]
12. О постройках и исправлениях по второй части г. Казани за 1985 г. // Национальный Архив РТ, Ф. 98. Оп.2. Д.1080. [About constructions and corrections on the second part of Kazan in 1985 // National Archive of RT. F. 98. Op.2. D.1932.]
13. Дело по ходатайству Г.З. Рамазанова о разрешение на постановку нефтяного двигателя для освещения комнат Апанаевского подворья, 1915 г. // Национальный Архив РТ, Ф. 98. Оп.2. Д.1080. [The case on the petition of G.Z. Ramazanov for permission to install an oil engine for lighting the rooms of the Apanayevsky compound, 1915 // National Archive of RT. F. 98. Op.2. D.1932.]
14. Панина М.К., Панина В.З. Влияние купечества на социально-экономическое развитие поволжского региона на примере династии Апанаевых // Известия Общества археологии, истории и этнографии при Казанском университете. 2022. Т. 42, № 3. С. 105-119. DOI 10.26907/2312-3400.2022.3.105-119 [Panina M.K., Panina V.Z. The influence of merchants on the socioeconomic development of the Volga region on the example of the Apanaev dynasty. Proceedings of the Society for Archaeology, History and Ethnography at the Kazan University. 2022;42 (3):105–119. DOI: 10.26907/2312–3400.2022.3.105-119]
15. Nadyrova D. Formation of the identity of the profitable complexes of the Old Tatar Quarter in Kazan of the late XIX - early XX centuries: 2nd International Scientific Conference on SocioTechnical Construction and Civil Engine ering (STCCE – 2021), Volume 274 (2021) / Kazan State University of Architecture and Engineering. France, 2021. P 1036. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127401036

Информация об авторах

Надырова Диляра Айдаровна, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: dilyaran@yandex.ru

Information about the authors

Dilyara A. Nadyrova, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: dilyaran@yandex.ru

УДК: 727.3
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_153
EDN: IGJXAV

К вопросу реорганизации промышленной территории Льнокомбината в г. Казани

А.В. Степанчук[1], А.М. Сулейманов[12], М.П. Петрушин[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* На текущий момент во многих городах России существует проблема окраинных «серых зон». В процессе роста и развития городская среда расширяется и приближается к территориям бывших промышленных центров, и возникает социально-экономический дисбаланс центра города и бывших окраин. Целью данной работы является разработка комплексного подхода к развитию подлежащих редевелопменту исторически-сформировавшихся промышленных территорий и объектов на примере Льнокомбината в г. Казани. Задачи исследования: рассмотрение предпосылок и причин редевелопмента исторически-сформировавшихся промышленных территорий; выявление характерных особенностей редевелопмента исторически-сформировавшихся промышленных территорий; разработка основных пунктов концепции развития и выделение посредством экспериментального проектирования ключевых подходов к редевелопменту бывшей промышленной территории Льнокомбината.
Результаты. Выявлены характерные особенности редевелопмента исторически-сформировавшихся промышленных территорий. Выполнен комплексный предпроектный градостроительный анализ территории, ограниченной ул. Несмелова с юго-востока, проспектом «Проезд №21» с юго-запада, территорией Зилантового монастыря и границами территории Льнокомбината с северо-запада, ул. 1 мая и ул. Гладилова с северо-востока, определивший ресурсы и проблемы территории. Предложено создание культурно-креативного квартала на территории Льнокомбината с учетом сохранения «духа места», размещения креативных индустрий, формирования системы открытых общественных пространств, комфортной пешеходной среды и раскрытия туристического потенциала территории.

Ключевые слова: промышленная территория, реорганизация, комплексное развитие, градостроительный анализ, концепция

Для цитирования: Степанчук А.В., Сулейманов А.М., Петрушин М.П. К вопросу реорганизации промышленной территории Льнокомбината в г. Казани // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 153-164, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_153, EDN: IGJXAV

On the issue of reorganization of the industrial territory of the Flax Mill in Kazan

A.V. Stepanchuk[1], A.M. Suleymanov[12], M.P. Petrushin[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Today, the problem of the development of the former outskirts of the city, “gray” zones, concerns many cities of the Russian Federation. A socio-economic imbalance has arisen between the areas of the city core and the former outskirts. In the process of industrialization, development and growth, the urban environment of core cities begins to

move closer to the territories of former industrial centers, previously located on the outskirts. The purpose of this work is to propose an option for reorganizing the territory of the Flax Mill in Kazan. The research objectives are comprehensive urban planning analysis; development of the main provisions of the development concept of the study area; development of a territory planning project.
Results. The characteristic features of the redevelopment of historically formed industrial territories have been identified. A comprehensive pre-design urban planning analysis of the territory bounded by the St. Nesmelov from the southeast, Proezd No. 21 Avenue from the southwest, the territory of the Zilantov Monastery and the borders of the Flax Mill territory from the northwest, St. 1 May and St. Gladilov from the northeast was carried out, which identified the resources and problems of the territory. It is proposed to create a cultural and creative quarter on the territory of the Flax Mill, taking into account the preservation of the "spirit of the place", the placement of creative industries, the formation of a system of open public spaces, a comfortable pedestrian environment and the disclosure of the tourist potential of the territory.

Keywords: industrial territory, reorganization, integrated development, urban planning analysis, concept

For citation: Stepanchuk A.V., Suleymanov A.M., Petrushin M.P. On the issue of reorganization of the industrial territory of the Flax Mill in Kazan // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 153-164, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_153, EDN: IGJXAV

1. Введение

На сегодняшний день проблема развития бывших окраин города, «серых» зон касается многих городов Российской Федерации [1,2]. Возник социально-экономический дисбаланс территорий ядра города и бывших окраин. В процессе индустриализации, развития и роста городская среда городов-ядер начинает вплотную пододвигаться к территориям бывших промышленных центров, ранее расположенных на окраинах [3-5]. Территория Камской агломерации, как активно развивающийся промышленный регион, так же столкнулась с данной проблемой. В результате этого встаёт вопрос перезагрузки серого пояса и создание на месте бывших промышленных предприятий и мануфактур новых узлов функциональной активности и целостной городской среды, а также выявления и проявления идентичности городов-ядер агломерации [6].

Согласно Стратегии РТ-2030 г., Камская агломерация позиционируется, как лидер промышленности и технологического развития, полюс роста «Волга-Кама», территория «новой индустриализации» и развития высоких технологий[1]. Так же основными задачами развития Камской Агломерации в рамках Стратегии РТ-2030 являются:

- девелопмент территорий в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий, нацеленный на формирование плотной и связной городской среды;
- развитие региона как центра накопления человеческого капитала, развитие системы непрерывного образования, обеспечивающих прирост кадрового потенциала. Поддержка и создание условий для развития креативных индустрий.

Упадок градообразующих предприятий, заброшенные промышленные объекты негативно влияют на экономическую конкурентоспособность города и его архитектурную составляющую. Градостроительная политика в данное время должна идти к более эффективному использованию территорий и максимальному сохранению благоприятной окружающей среды. Эти требования ставятся перед исторически сложившимися промышленными территориями города для обоснования их будущего существования, развития или редевелопмента производственной территории. Изменение таких объектов повлечет за собой улучшение качества городской среды и повышение уровня жизни горожан.

[1] http://i.tatarstan2030.ru

Исследованиями особенностей редевелопмента исторически-формировавшихся промышленных территорий с объектами культурного наследия, расширения площадей и приспособления исторической застройки к современным требованиям посвящены работы Н. Петкович-Грозданович, Б. Стоилькович, А. Кековича, В. Мургуль, С. Головиной [7,8]. Вопросы городской политики преобразования промышленных территорий, взаимодействия человека с предметной средой города рассмотрены в исследованиях Р. А. Дрожжина, Е. А. Благиных, Н.И. Ибрагимовой, Т.О. Бердник, Ю.И. Еременко [9-11]. Особенностям развития и редевелопмента промышленных объектов в аспекте развития комфортной и гармоничной городской среды посвящены труды Д.С. Лопаткина, Т.Н. Шушуновой, К. Кристиановой, К. Гецовой, Е. Путровой [12,13]. Т.Ю. Быстрова исследует методики выбора наи-более оптимального решения реабилитации промышленных территорий [14].

С начала 2000-х годов проекты редевелопмента исторически-сформировавшихся промышленных территорий успешно реализуются во всем мире. Так, в Лондоне был реорганизован район Кинг Кросс и открыт доступ к Риджентс каналу (проект Allies and Morrison), где по проекту архитектурного бюро Thomas Heatherwick Studio угольные склады были преобразованы в торговый центр Coal Drops Yard. В Бруклине кофейный склад Empire Stores реорганизовали в креативный кластер с развитыми общественными пространствами (арх. S9 Architecture). В Милане в здании бывшего спиртового завода расположился Центр искусства Prada (арх. OMA), в Кейптауне элеватор был преобразован в Музей современного искусства MOCAA Art Galleries (арх. Thomas Heatherwick Studio), а в Эссене здание Музея Ruhr Museum с общественными пространствами организовано на месте бывших угольных шахт (арх. OMA).

В России также реализовано множество достойных проектов редевелопмента. Один из них - проект развития территории завода Севкабель, г. Санкт-Петербург (Бюро Хвоя; 2019 год). На территории расположены корпуса мануфактуры Siemens & Halske и промышленные сооружения 70-х годов 20 века. Основные усилия сосредоточены на реновации и приспособлении существующих зданий и сохранении промышленного прошлого. Не менее известный проект - креативный «Кластер Октава» в г. Тула (Orchestra Design; 2018 г.), где с 1927 производили микрофоны. Концепцией предусмотрены многофункциональный зал, студии звукозаписи, библиотека, музей, техническая школа и офисы. В результате реновации в корпусах кондитерской фабрики «Большевик» (John McAslan+Partners; 2012-2016 гг.) сформирован культурно-деловой комплекс с бизнес-центром, музеем русского импрессионизма, жилыми помещениями и пешеходно-рекреационной зоной. Основная идея проекта - максимально бережная адаптация объектов промышленного наследия для современного использования.

В рамках данных направлений актуально развитие редевелопмента и реабилитации бывших промышленных центров городов, создание новых точек притяжения, образовательных и производственных кластеров. Это определило цель исследования, которая заключается в разработке комплексного подхода к развитию подлежащих редевелопменту исторически-сформировавшихся промышленных территорий и объектов на примере Льнокомбината в г. Казани.

В соответствии с целью исследования определены следующие задачи:

1. рассмотрение предпосылок и причин редевелопмента исторически-сформировавшихся промышленных территорий.

2. выявление характерных особенностей редевелопмента исторически-сформировавшихся промышленных территорий.

3. разработка основных пунктов концепции развития и посредством экспериментального проектирования выделение ключевых для развития городской среды подходов к редевелопменту бывшей промышленной территории Льнокомбината и близлежащей территории, ограниченной ул. Несмелова с юго-востока, проспектом «Проезд №21» с юго-запада, территорией Зилантового монастыря и границами территории Льнокомбината с северо-запада, ул. 1 мая и ул. Гладилова с северо-востока.

Объектом исследования является бывшая промышленная территория Льнокомбината. Предмет исследования – особенности редевелопмента данной исторически-сформировавшегося промышленной территории.

2. Материалы и методы исследования

В основе исследования лежит системный подход: проанализированы мировые тенденции редевелопмента промышленных территорий, рассмотрены и систематизированы внешние факторы, влияющие на необходимость изменения промышленных территорий, а также выявлены способы их реорганизации.

Проведено натурное обследование территории Льнокомбината в г. Казани и близлежащей территории, ограниченной ул. Несмелова с юго-востока, проспектом «Проезд №21» с юго-запада, территорией Зилантового монастыря и границами территории Льнокомбината с северо-запада, ул. 1 мая и ул. Гладилова с северо-востока, проанализированы документы территориального планирования и предыдущие проектные наработки по территории.

Выполнен комплексный градостроительный анализ, включающий функциональное зонирование территории, анализ улично-дорожной сети, историко-культурные исследования объектов культурного наследия, расположенных в границах исследуемой территории, анализ кадастрового деления и озеленения, результатом которого являются материалы по обоснованию проекта планировки территории, далее предложены этапы освоения территории и ее дальнейшее функциональное развитие [14].

3. Результаты и обсуждение

Перенос производств, реабилитация промышленных территорий неразрывно связаны со сносом или реконструкцией объектов при одновременной смене их функционального назначения. Новые экономические и социальные условия выдвигают совершенно иные требования к городскому пространству. В связи с этим сегодня среди мировых тенденций редевелопмента можно отметить формирование связанности территории, пешеходную доступность озелененных общественных пространств; выявление, сохранение и трансляцию «духа места», смешанное функциональное использование «mix use» с включением креативных индустрий, гибкость проектных решений, воссоздание масштаба среды, атмосферы.

В результате изучения мирового опыта, установлены внешние факторы, влияющие на изменения и редевелопмент промышленных территорий:

1) неэффективность функционирования производств, зданий и сооружений;

2) нерациональное зонирование территорий;

3) необходимость восстановления исторических памятников архитектуры и городских кварталов;

4) инициатива горожан и желание городских властей содействовать развитию промышленных территорий;

5) смена производственных приоритетов города, изменение региональной политики.

Целью редевелопмента промышленных территорий является улучшение качества общественных пространств, повышение уровня жизни, оптимальное использовании возможностей территорий, обеспечении их устойчивого развития, повышение социально-экономического потенциала. Основными факторами, влияющими на выбор стратегии редевелопмента являются: физическое и моральное устаревание технологических линий производства; высокая арендная плата за землю; недостаток трудовых ресурсов; структурная перестройка промышленности. Редевелопмент промышленных территорий может осуществляться несколькими способами:

- выносом производств на периферию города. На прежней территории могут быть сохранены безвредные производства, административно-бытовые учреждения. На освободившихся территориях размещаются объекты деловой инфраструктуры, жилые комплексы и т.п. Размер промышленной территории сокращается, улучшается благоустройство и экологическая обстановка;

- модернизацией производства, реконструкцией объектов, благоустройством и более эффективным использованием площадей с учетом новейших технологий;

- консервацией территории, если она имеет историческую ценность или объекты архитектурного наследия;

- частичным или полным перепрофилированием территории. Возможен снос производственных зданий, рекультивация земель, новое гражданское строительство. Возможно сохранение существующих площадок с обязательным перепрофилированием.

В рамках данного исследования рассмотрена исторически сложившаяся промышленная территория Льнокомбината в городе Казань, расположенная в Кировском районе города и ограниченная ул. Несмелова с юго-востока, проспектом «Проезд №21» с юго-запада, территорией Зилантового монастыря и границами территории Льнокомбината с северо-запада, ул. 1 мая и ул. Гладилова с северо-востока. Общая площадь проектируемой территории – 68 Га, площадь территории Льнокомбината – 8 Га.

Исследуемая территория находится в историческом, промышленном центре города и тесно связана с историей Адмиралтейской слободы. Территория Льнокомбината - комплекс кирпичных и железобетонных зданий, возведённый купцом Алафузовым. В 1862 году открылась льнопрядильная фабрика, а в 1865 начала работать текстильная фабрика. Для нужд персонала в 1870-1880-х гг. были построены школа, детский сад и ясли, библиотека, театр. В советское время фабрика продолжала свою деятельность, достраивались новые промышленные здания. В 2006 году история Льнокомбината закончилась банкротством. С 2015 года здесь проходят разные мероприятия.

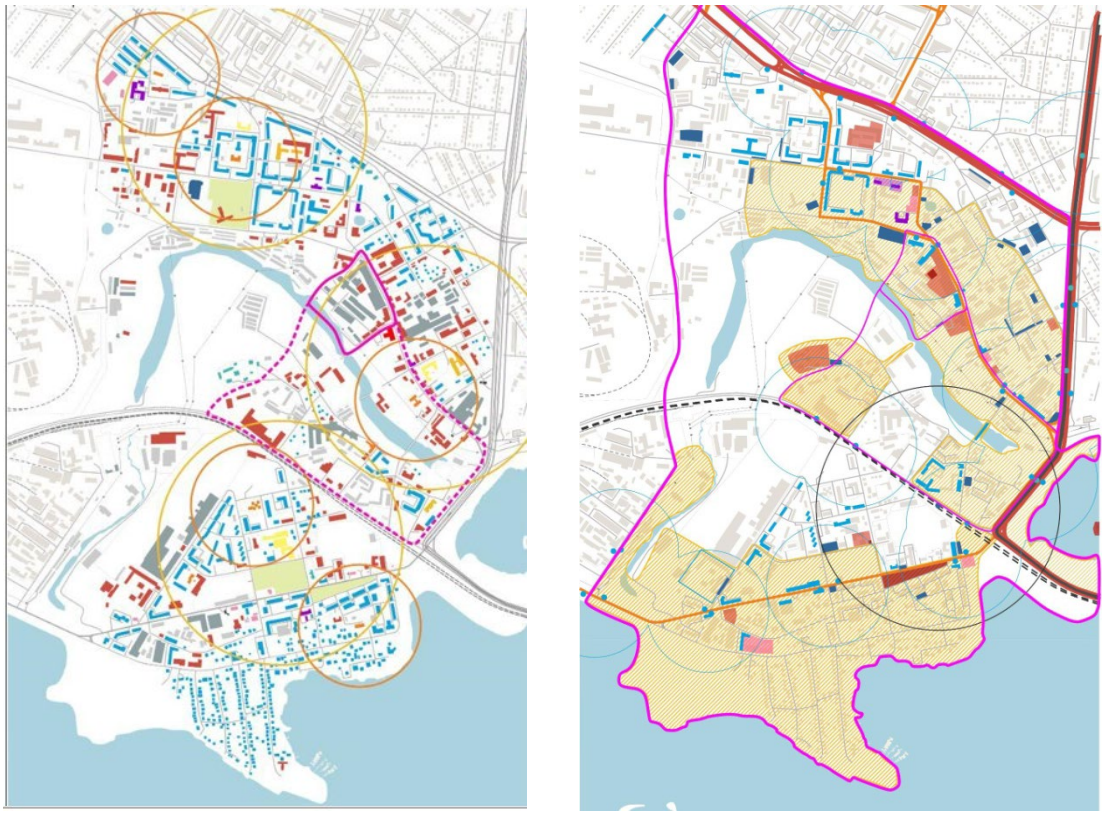
Был проведен комплексный градостроительный анализ (рис. 1) территории проектирования. В результате был выявлен ландшафтно-рекреационный потенциал территории исследования, которая граничит со старым руслом реки Казанки, однако большая часть русла на сегодняшний день загрязнена, отсутствует благоустройство набережной, выход к воде затруднён. На территории преобладают зоны размещения производственных объектов, объектов коммунально-складского значения, зона многоквартирной и индивидуальной жилой застройки, имеются два детских сада и речной техникум. Так же присутствуют объекты культурного наследия. Практически отсутствуют условия для комфортного пешеходного перемещения.

Территория Льнокомбината на сегодняшний день практически вся заброшена и использует минимум своего потенциала. Были выявлены ресурсы и проблемы территории. К ресурсам территории относятся:

- историко-культурный потенциал и наличие объектов культурного наследия (дом Котелова, 1833г. архитектор Пятницкий П.Г.; здание Алафузовского театра второй половины XIX в.; здание льноткацкой фабрики Алафузова, 1905 г.; в непосредственной близости от территории Льнокомбината – дом Алафузова (деревянный) XVIII в.; Зилантов монастырь, 1681 г., перестроен в XVIII-XIX вв., архитектор неизвестен);
- территориальные резервы бывших промышленных объектов;
- крупный ландшафтно-рекреационный потенциал;
- транспортная доступность территории.

Среди проблем территории были выявлены следующие:

- отсутствие транспортного сообщения берегов старого русла;
- низкая плотность населения;
- значительный физический износ застройки;
- низкий уровень благоустройства;
- разрушение памятников истории и культуры;
- отсутствие спроса на недвижимость;
- неэксплуатируемые промышленные объекты и заброшенные территории;
- отсутствие единой системы общественных пространств, рекреационного каркаса.



а) б)

Рис. 1. Комплексный градостроительный анализ территории:
а) функциональная схема,
б) транспортная организация территории и объекты культурного наследия
(иллюстрация авторов)
Fig. 1. Comprehensive urban planning analysis of the territory: a)
functional diagram, b) transport organization of the territory, cultural heritage sites
(illustration by the authors)

Условные обозначения:

граница исследуемой территории;
жилье;
коммерция;
административные здания;
промышленные здания;
складские помещения;
детский сад;
общеобразовательные школы;
больницы, поликлиники;
религиозные организации;
граница фабрики Алафузова;
магистрали регионального значения;
магистрали районного значения;
трамвайные пути;
автомобильный паркинг;
автобусные остановки;
трамвайные остановки;
остановка железнодорожного транспорта;
радиус доступности.

Основываясь на результатах предпроектного анализа и градостроительной документации (генерального плана г. Казани, Правил землепользования и застройки г. Казани, ППТ Старое русло реки Казанки и Адмиралтейской слободы), изученного мирового и отечественного опыта редевелопмента промышленных территорий с сохранением «духа места» были сформулированы основные мероприятия концепции развития исследуемой территории:

1. сохранение и регенерация исторической среды;
2. экологическая реабилитация старого русла Казанки;
3. создание парково-рекреационной зоны на территории старого русла реки;
4. снос аварийного жилого фонда, вынос промышленно-складских объектов;
5. формирование квартальной жилой застройки и объектов общественного назначения с учетом характерных для исторической территории размеров кварталов и высотных ограничений;
6. развитие объектов социального обслуживания населения с учетом нового жилого фонда, таких как детские сады, школы и т.д.;
7. сохранение «духа места» промышленного прошлого территории в системе открытых общественных пространств Льнокомбината;
8. создание единого ландшафтно-рекреационного каркаса, объединяющего рекреационные пространства и жилую зону;
9. формирование комфортной пешеходной среды.
10. формирование транспортных и пешеходных связей берегов Старого русла р. Казанка;
11. раскрытие туристического потенциала территории.

В соответствии с предложенной концепцией был разработан проект планировки территории, предусматривающий формирование транспортной связи берегов двухполосной автодорогой в продолжение ул. Энгельса и автодорожный мост через Старое русло; застройку переменной этажности с высотой зданий от 3 (в районе Зилантового монастыря) до 5-6 этажей к существующей на территории жилой застройке, с соблюдением норм инсоляции. В проекте предусмотрены разные типы застройки: секционные дома средней этажности, точечные жилые дома на стилобате с общественной функцией вдоль проспекта «Проезд №21» и пешеходного бульвара, расположенного в жилой зоне. В рекреационной зоне Старого русла планируется размещение детского игрового и театрального парка с открытым амфитеатром в непосредственной близости от здания театра Алафузова. Пешеходная связь берегов русла осуществляется через мосты, а также объект культурного наследия «Горбатый мост».

Предполагается освоение территории в 4 этапа (рис. 2):

I очередь – очистка и регенерация Старого русла реки Казанки;

II очередь - формирование транспортной связи берегов Старого русла и размещение новой жилой застройки;

III очередь - развитие рекреационно-парковых пространств у жилой застройки и Зилантового монастыря, редевелопмент территории Льнокомбината, возведение театрального парка.

IV очередь - освоение юго-восточной части территории (детский парк, реконструкция Горбатого моста).

В 2021 году Правительством Российской Федерации была утверждена Концепция развития креативных индустрий и механизмов осуществления их государственной поддержки в крупных городских агломерациях до 2030 года[2].

В данном направлении проектным предложением рассматривается развитие Льнокомбината с расположением Креативного квартала на территории и площадях бывших производственных корпусов фабрики. Он включает арендные жилые и офисные помещения, мастерские креативных индустрий, выставочные залы, лектории, шоурумы, бары, кафе и т.д.

[2] http://government.ru/docs/all/136723/

Одна из задач развития территории, предусмотренная в рамках данного проекта - перенаправление пешеходных потоков с улиц в рекреационные пространства. Таким образом, основные входные группы и площади располагаются у прибрежных территорий Старого русла. На пересечении пешеходных потоков располагаются входные зоны-площади, которые могут быть использованы для проведения различных фестивалей и мероприятий. Также пешеходная часть насыщена точками притяжения, в том числе и визуальными: коммерческие и общественные павильоны, фонтаны, качели, смотровые башни, выполненные промышленной стилистике начала 20 века (например, водонапорные башни архитектора Шухова).

В зданиях, расположенных по ул. Гладилова, располагаются арендные жилые помещения с пешеходно-ориентированным дворовыми пространством, в корпусах, относящихся к ОКН, размещены офисные, выставочные и коммерческие помещения на первых этажах. В промышленном корпусе советского периода так же располагаются жилые помещения и объекты обслуживания (прачечные, спортзал и другие).

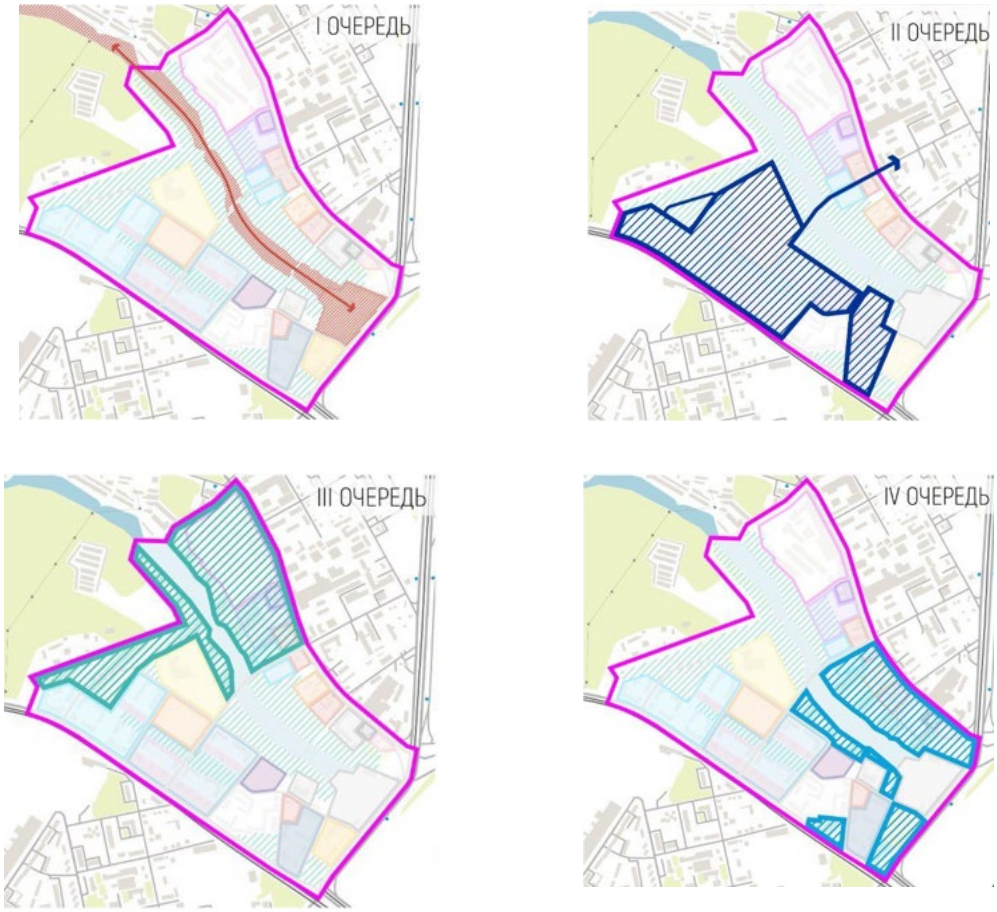


Рис. 2. Четыре этапа освоения территории
(иллюстрация авторов)
Fig. 2. Four stages of territory development
(illustration by the authors)

Объекты, расположенные в центральной части территории, также перепрофилируются и насыщаются такими функциями, как коммерция, оранжереи, образовательные и офисные пространства, формируется узкая торговая улица с отсылкой к «духу места» - Льнокомбинату (рис. 4).

На территории квартала предлагается оставить дымовую трубу, восстановить исторический облик крыш промышленных зданий, расположить две смотровые башни в промышленной стилистике начала XX века. Таким образом, достигается высотное

разнообразие территории, сохраняется «дух места» [15]. Проектом предлагается использовать строительные и отделочные материалы, характерные для данной территории: красный кирпич, бетон, стеклоблоки.

В помещениях, расположенных у набережной Старого русла, предлагается расположить производственно-образовательный центр с мастерскими по производству небольших речных судов и лодок, в котором может поучаствовать любой желающий. Также проектным предложением предусмотрено развитие набережной с использованием рельефа территории. Пешеходные пути располагаются на разных высотах, имеются пешеходные мосты. Спуск лодок на воду из образовательных мастерских происходит под пешеходными путями. Для обеспечения территории Льнокомбината парковочными местами, согласно выполненным расчетам, предусмотрены наземные парковочные пространства, подземный паркинг, расположенный в корпусе Льнокомбината советского периода с заездом с ул. Гладилова (рис. 3).

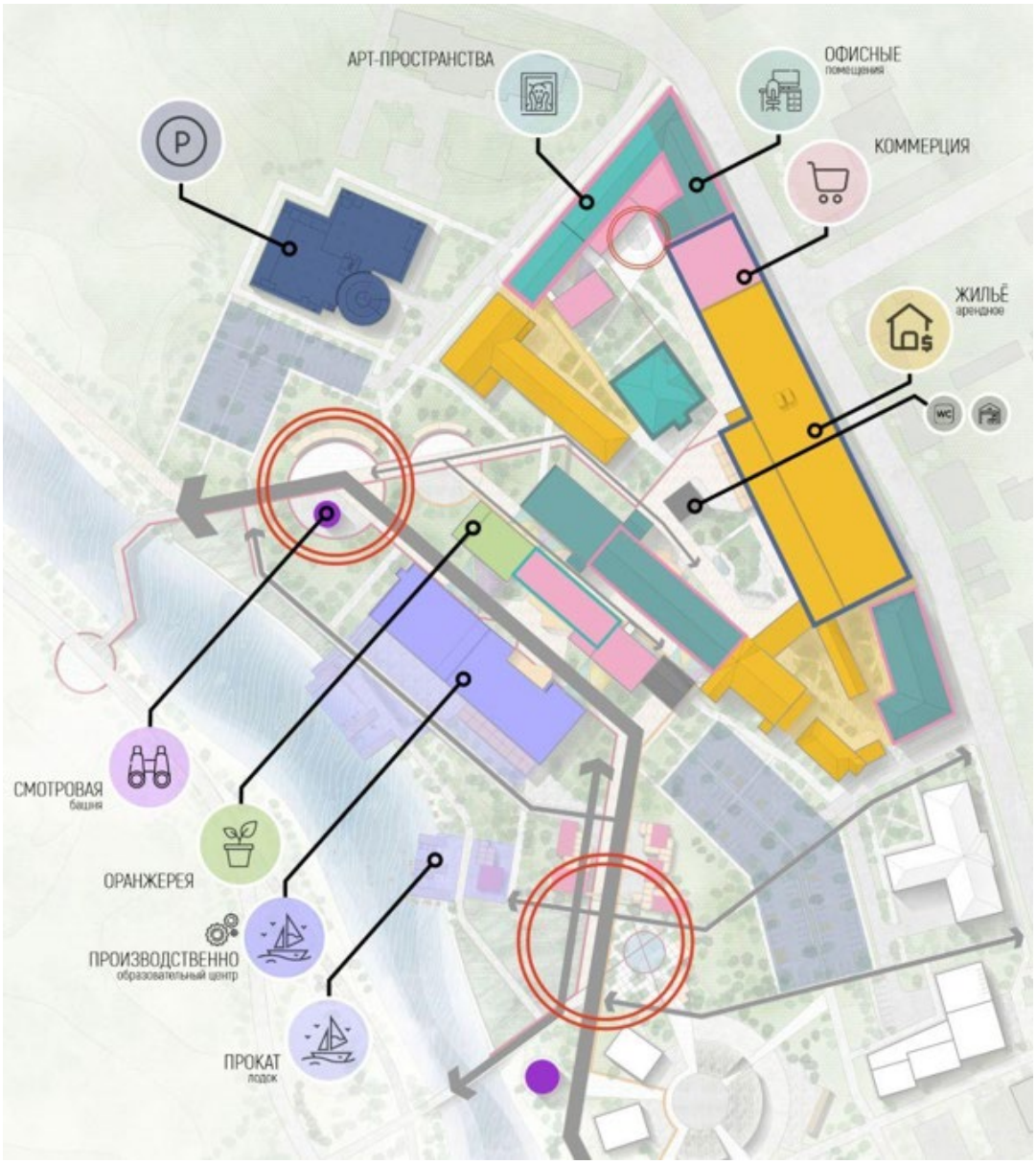


Рис. 3. Функциональное развитие территории Льнокомбинат (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Functional development of the Flax Mill territory (illustration by the authors)

Подобные исторические промышленные территории могут стать значимым местом города. Ожидается, что данное проектное решение поднимет качество благоустройства территории, увеличит приток разнообразных групп населения, увеличит популярность, узнаваемость территории, реализует туристический потенциал и повысит инвестиционную привлекательность. Ядро проекта - культурно-креативный квартал на территории Льнокомбината. Вокруг подобных лофтов некогда разрушающаяся промышленная зона становится процветающим кварталом, точкой притяжения, актуальным местом, где производственная деятельность удачно сочетается с креативными творческими и образовательными проектами.

4. Заключение

1. Таким образом, авторами были рассмотрены предпосылки и причины редевелопмента исторически-сформировавшихся промышленных территорий и объектов. Установлены внешние факторы, влияющие на изменения и редевелопмент промышленных территорий: неэффективность функционирования производств, зданий и сооружений; нерациональное зонирование территорий; необходимость восстановления исторических памятников архитектуры и городских кварталов; инициатива горожан и желание городских властей содействовать развитию промышленных территорий; смена производственных приоритетов города, изменение региональной политики.

2. Выявлены характерные особенности редевелопмента исторически-сформировавшихся промышленных территорий: вынос производств на периферию города; модернизация производства; консервация территории, если она имеет историческую ценность или объекты архитектурного наследия; частичное или полное перепрофилирование территории.

3. На базе комплексного предпроектного градостроительного анализа были предложены мероприятия в рамках концепции развития территории и посредством экспериментального проектирования выделены ключевые подходы к редевелопменту бывшей промышленной территории Льнокомбината и близлежащей территории, предложено создание культурно-креативного квартала на территории Льнокомбината с учетом сохранения «духа места», размещения креативных индустрий, формирования системы открытых общественных пространств, комфортной пешеходной среды и раскрытия туристического потенциала территории.

Список литературы / Refernces

1. Алексеева Е. В. Быстрова Т. Ю. Ревалоризация индустриального наследия в городской агломерации: пример Большого Екатеринбурга // Известия Уральского федерального университета. Серия 1: Проблемы образования, науки и культуры. – 2022. – Т. 28, № 2. – С. 97-109. [Alekseeva E. V. Bystrova T. Yu. Revalorization of industrial heritage in urban agglomerations: the example of Greater Yekaterinburg // News of the Ural Federal University. Series 1: Problems of education, science and culture. – 2022. – Vol. 28, No. 2. – P. 97-109.] – DOI 10.15826/izv1.2022.28.2.030. – EDN ZJPUBE.
2. Романова А.И., Шагиахметова Э. И., Терентьев А. Г., Галимова Л.Р., Хусаинова Д.Р. Сравнительный анализ вариантов ревитализации промышленных объектов// Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 10(147). – С. 1180-1185. [Romanova A.I., Shagiakhmetova E.I., Terentyev A.G., Galimova L.R., Khusainova D.R. Comparative analysis of options for revitalization of industrial facilities // Economics and Entrepreneurship. – 2022. – No. 10(147). – З. 1180-1185] – DOI 10.34925/EIP.2022.147.10.235. – EDN PAAZUP.
3. Закирова Ю. А., Хуснутдинова С. Р., Дембич А. А. Полицентричность города Казань: возможности и ограничения развития административных районов // Географический вестник. – 2018. – № 2(45). – С. 62-71. [Zakirova Yu. A., Khusnutdinova S. R., Dembich A. A. Polycentricity of the city of Kazan: opportunities and limitations for the development of administrative districts // Geographical Bulletin. – 2018. – No. 2(45). – P. 62-71.] – DOI 10.17072/2079-7877-2018-2-62-71. – EDN EKZLNX.

4. Eva Belláková. Analysis of Industrial Architectural Heritage – Iron and Steel Plants as a Development Potential// Procedia Engineering 161 (2016) 1926 – 1931, doi:10.1016/j.proeng.2016.08.769
5. Jianqiang Yang. Integrated sustainability assessment and renewal of old industrial areas: A case study on Changzhou// Procedia Engineering 180 (2017) 136 – 145, doi:10.1016/j.proeng.2017.04.173
6. Gudina, M. The principles of identity in the renovation of industrial buildings in historical cities of Russia / M. Gudina, E. Prokofiev // IOP conference series : Materials Science and Engineering, Kazan, 29 апреля – 15 2020 года. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012015. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012015. – EDN GPWWLO.
7. Nataša Petković-Grozdanovića, Branislava Stoiljković, Aleksandar Keković, Vera Murgul. The possibilities for conversion and adaptive reuse of industrial facilities into residential dwellings// Procedia Engineering 165 (2016) 1836 – 1844, doi:10.1016/j.proeng.2016.11.931
8. Milja Penica, Golovina Svetlana, Vera Murgul. Revitalization of Historic Buildings as an Approach to Preserve Cultural and Historical Heritage// Procedia Engineering 117 (2015) 883 – 890, doi:10.1016/j.proeng.2015.08.165
9. Дрожжин Р. А., Благиных Е. А. Реабилитация промышленных территорий как один из факторов устойчивого развития городской среды// Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2016. – № 2(16). – С. 48-53. [Drozhzhin R. A., Blaginykh E. A. Rehabilitation of industrial areas as one of the factors of sustainable development of the urban environment // Bulletin of the Siberian State Industrial University. – 2016. – No. 2(16). – P. 48-53.] – EDN WIQTKJ.
10. Ибрагимова Н. И. Решение экопроблем средствами ландшафтного дизайна // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. – 2022. – № 1-2. – С. 184-188. [Ibragimova N.I. Solving environmental problems using landscape design // Decorative art and subject-spatial environment. Bulletin of MGHPA. – 2022. – No. 1-2. – P. 184-188] – DOI 10.37485/1997-4663_2022_1_2_184_188. – EDN YYZGBR.
11. Бердник Т. О., Еременко Ю. И. Ревитализация промышленных территорий в контексте сохранения объектов культурного наследия // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник РГХПУ им. С.Г. Строганова. – 2021. – № 2-2. – С. 179-185. [Berdnik T. O., Eremenko Yu. I. Revitalization of industrial territories in the context of preserving cultural heritage objects // Decorative art and object-spatial environment. Bulletin of the RGHPU named after. S.G. Stroganov. – 2021. – No. 2-2. – P. 179-185.]– EDN MCHNSJ.
12. Лопаткин Д. С., Шушунова Т. Н., Вакуленко В. Ф., Лашманкина К. Ю. Управление развитием городской среды на основе ревитализации промышленных территорий // Транспортное дело России. – 2022. – № 4. – С. 80-82. [Lopatkin D. S., Shushunova T. N., Vakulenko V. F., Lashmankina K. Yu. Management of the development of the urban environment based on the revitalization of industrial territories // Transport business of Russia. – 2022. – No. 4. – P. 80-82.] – DOI 10.52375/20728689_2022_4_80. – EDN VBPVOX.
13. Katarína Kristiánová, Katarína Gécová, Eva Putrová. Old Industrial Sites – Conversion to Parks: Potential of Bratislava// Procedia Engineering 161 (2016) 1858 – 1862, doi:10.1016/j.proeng.2016.08.709
14. Быстрова Т. Ю. Анализ методик реабилитации промышленных городских территорий // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 2. – С. 16-20. [Bystrova T. Yu. Analysis of methods for rehabilitation of industrial urban areas // Academic bulletin of UralNIIproekt RAASN. – 2015. – No. 2. – P. 16-20.] – EDN UCTJOZ.
15. Stepanchuk, A. «Genius Loci» as a resource for the development of historical areas of the city / A. Stepanchuk, S. Gafurova, M. Latypova // IOP conference series : Materials Science and Engineering, Kazan, 29 апреля – 15 2020 года. Vol. 890. – Kazan, Russia:

IOP Science, 2020. – P. 012013. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012013. – EDN USFJJE.

Информация об авторах

Степанчук Алена Валентиновна, кандидат архитектуры, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail : alena.stepanchuk@bk.ru
Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Петрушин Михаил Николаевич, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: Petrushin_m1997@mail.ru

Information about the authors

Alena V. Stepanchuk, candidate of architecture, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: alena.stepanchuk@bk.ru
Alfred M. Suleymanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corr.-m. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Mikhail N. Petrushin, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: Petrushin_m1997@mail.ru

УДК: 726.03
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_165
EDN: IHSUEX

К вопросу датировки строительных периодов храма Иоанна Златоуста в селе Ивановское

А.С. Воронина[1], С.Г. Персова[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Нередко при сопоставлении результатов натурных исследований объектов культурного наследия со сведениями из библиографических источников приходится сталкиваться с неточностями и ошибками в названиях, датировках, авторстве. Установление достоверности сведений, сообщаемых о памятниках истории и культуры, составляет центральную задачу «исторической критики».
Цель работы заключается в определении строительной периодизации церкви Иоанна Златоуста в селе Ивановское (Республика Татарстан). *Задачами* являются краткое историко-архитектурное описание; сопоставление архивных материалов и результатов натурных исследований церкви; уточнение датировок возведения храма.
Результаты. Введены в научный оборот ранее не публиковавшиеся архивные документы; выявлена повторяющаяся ошибка во всех библиографических источниках – неверная датировка возведения храма и колокольни и ошибочное определение авторства. Эта ошибка была обнаружена в результате натурных исследований и доказана найденным архивным материалом с чертежами и кратким описанием.
Выводы. Проведенный критический анализ источников позволил исправить ошибку в датировке объекта. Пример данного исследования демонстрирует возможность реконструкции этапов «жизни» почти трехсотлетнего памятника на основе сопоставления результатов натурных и библиографических исследований.

Ключевые слова: библиографические источники, натурное исследование, церковь Иоанна Златоуста, историко-архитектурное описание, село Ивановское, датировка храма, строительные периоды храма

Для цитирования: Воронина А.С., Персова С.Г. К вопросу датировки строительных периодов храма Иоанна Златоуста в селе Ивановское // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 165-175, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_165, EDN: IHSUEX

On the issue of dating of construction periods of the Church of St. John Chrysostom in the village of Ivanovskoye

A.S. Voronina[1], S.G. Persova[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Often, when comparing the results of field studies of cultural heritage sites with information from bibliographic sources, one has to deal with inaccuracies and errors in names, dates, and authorship. Determining the reliability of information reported about historical and cultural monuments is the central task of “historical criticism”.
The purpose of the work is to determine the construction periodization of the Church of St. John Chrysostom in the village of Ivanovskoye (Republic of Tatarstan). The objectives include a brief historical and architectural description; comparison of archival materials and results of field studies of the church; clarification of the dating of the construction of the church.

Results. Previously unpublished archival documents were introduced into scholarly discourse; a recurring error was identified in all bibliographic sources, i.e. incorrect dating of the construction of the church and the bell tower and incorrect identification of authorship. This error was discovered as a result of field research and proved by the found archival material with drawings and a brief description.
Conclusions. A critical analysis of the sources made it possible to correct the error in the dating of the object. The example of this study demonstrates the possibility of reconstructing the stages of the "life" of an almost three-hundred-year-old monument based on a comparison of the results of field and bibliographic research.

Keywords: bibliographic sources, field research, St. John Chrysostom church, historical and architectural description, Ivanovskoye village, dating of the temple, construction periods of the temple

For citation: Voronina A.S., Persova S.G. On the issue of dating of construction periods of the Church of St. John Chrysostom in the village of Ivanovskoye // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 165-175, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_165, EDN: IHSUEX

1. Введение

Вопросы датировки и строительной периодизации архитектурных памятников являются во многих случаях ключевыми в выборе решений по их реставрации [1]. Актуальность выявления и изучения архивных документов в процессе исследований объектов культурного наследия подчеркивается как в трудах современных зарубежных авторов [2], так и в российских публикациях [10]. И в мировой, и в отечественной практике реставрации при обосновании концептуальных подходов принято применять критический сравнительный анализ результатов комплексных научных исследований в доказательство достоверности полученных данных [3].

При определении периодов строительства и перестроек применяются разные подходы. В последнее время широкое распространение находят естественно-научные методы, такие как радиоуглеродный анализ, дендрохронология, микрохимия и др. Например, для определения периодов строительства замка Сагунто был разработан новый метод косвенной хронологии. Метод основан на использовании масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) для определения редкоземельных элементов (РЗЭ) и других микроэлементов в строительных растворах. [5]. Традиционно в реставрационной практике применяется сравнительный анализ, который включает историко-архивные и библиографические исследования, архитектурно-археологические обмеры, изучение конструктивно-технологических особенностей и приемов кирпичной кладки, архитектурно-стилистический анализ.

Первичными и наиболее достоверными источниками являются архивные документы, на которых базируется все исследование периодизации [6]. Исторические сведения важно подтверждать натурными исследованиями., что иллюстрирует статья С.А. Антоновой «История создания церкви Рождества Христова в селе Вишняково» [7]. На основе архивного документа установлена точная дата строительства памятника, которая разнилась с датой в библиографических источниках, а также «Ранее возведение колокольни и трапезной датировалось более поздним временем по отношению к возведению храма, по данным цитируемой метрики совершенно очевидно, что церковь, трапезная и колокольня возводились одновременно». Аналогичное исследование было предпринято В.А. Батуровой [8], проведенного с целью уточнения датировки Благовещенской церкви в Сновицах, а также выяснения конструктивных и декоративных особенностей памятника. Важность архивных источников показана в статьях А.И. Давыдова; А.М. Салимова; Н.В. Днепровского [9-11], в которых говорится об уточнении датировки возведения памятника на основе найденных многочисленных исторических материалов. В статье А.Б. Боде и Т.В. Жигальцовой [12], приведен пример чертежа, найденного среди множества много архивных документов, на котором было отражено три строительных периода памятника.

Важность натурных исследований показана в статьях Д.Д. Ёлшина; В.Л. Мыц [13-14], в которых была неизвестна дата строительства памятника, его относили к одному периоду, но в ходе археологических раскопок и натурных исследований определена точная дата возведения памятника и изменился его период.

Церковь Иоанна Златоуста является выявленным объектом культурного наследия (утв. 01.01.2002 г.). Специальных исследований, посвященных этому памятнику, нет. Упоминание о нем встречается в каталоге-справочнике «Республика Татарстан: памятники истории и культуры» [15]; в Своде памятников истории и культуры Республики Татарстан [16]; в иллюстративном каталоге «Объекты культурного наследия Республики Татарстан: Том I» [17] и в каталоге «Православные храмы-памятники Казанского края» [18]. В официальном документе объект именуется «Церковь Св. Иоанна Златоуста 1732, 1896». Указанная дата перестройки – 1896 г., повторяющаяся во всех указанных изданиях, не подтвердилась проведенными историко-архивными и натурными исследованиями. К исследованию были привлечены справочные книги по Казанской Епархии за 1900 и 1901гг, материалы по ремонту церкви в 1901-1905гг., духовные ведомости за 1779 и 1843гг., описание села за 1814 год, паспорт объекта культурного наследия (1990 г.). Проведенный критический анализ источников выявил несоответствие даты строительства колокольни, указанной в охранных документах и справочной литературе, реальной исторической строительной периодизации памятника.

Объект исследования: церковь Иоанна Златоуста.

Предмет исследования: строительные этапы церкви Иоанна Златоуста и особенности найденных источников.

Целью данной работы является определение строительной периодизации храма Иоанна Златоуста в селе Ивановское (Республика Татарстан).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- найти и проанализировать материалы связанные с историей церкви Иоанна Златоуста, составить краткое историко-архитектурное описание;
- сопоставить архивные материалы с результатами натурных исследований церкви;
- уточнить датировки возведения храма и его частей, на основе анализа письменных документальных источников и натурных исследований сформировать периодизацию церкви Иоанна Златоуста в селе Ивановское (Республика Татарстан).

2. Материалы и методы

Основные данные, используемые в исследовании, были обнаружены в государственном архиве Республики Татарстан, в фонде №4 (Казанская духовная консистория), в котором были найдены духовные ведомости церкви Иоанна Златоуста за 1778г и за 1843г, что позволило подтвердить правильную датировку возведения церкви, наличие колокольни, придела, отсутствие вспомогательных построек и рассмотреть общую картину села. Самым важным документом в этом фонде было дело о ремонте храма в 1901г, которое дало много информации о проведенных работах и о состоянии храма до, во время и после ремонта. В фонде №2 (Казанское губернское правление) был найден документ, который выявил ошибку во всех библиографических источниках и в официальном названии памятника. Также в документе найден проект первого Казанского Епархиального архитектора Ф.Н. Малиновского, который не был известен ранее. В фонде №140 (Казанско-Царевококшайская дворянская опека Казанской губернии) найдена опись недвижимого имения и движимого имущества, оставленного после смерти владельца села Ивановское. Исходя из документа можно составить картину, каким раньше было село: архитектура домов, сады, вспомогательные постройки. Также был найден паспорт памятника истории и культуры 1990 г. с письменным материалом и фотографиями, в котором зафиксировано, что уже на момент составления паспорта церковь Иоанна Златоуста пребывает в аварийном состоянии. Часть информации также была найдена в Справочной книге для Казанской Епархии за 1900 и 1909г.

Метод исследования основывается на систематизации новых историко-архивных данных, сравнительном анализе, сопоставлении их с данными, указанными в документах и справочной литературе, критическом анализе источников для получения максимально объективной строительной периодизации церкви Иоанна Златоуста.

3. Результаты и обсуждение

Церковь Иоанна Златоуста «...построена 1732 года тщанием прихожан...»1 в стиле московского барокко (рис. 1) и является выявленным объектом культурного наследия, в соответствии со Списком, утвержденным 01.01.2002 г. Располагается на западном склоне взгорка высокого правого берега реки Свияги в селе Ивановское Верхнеуслонского района Республики Татарстан. Центральный объем церкви выполнен по типу – восьмерик на четверике, двусветный, перекрыт восьмигранным сводом. Апсида пятигранная под граненной конхой. Трапезная с северным приделом в виде полукруглой апсиды. Колокольня состоит из трех ярусов. [16].

Исторические каменные сооружения являются важным компонентом культурного наследия. Эти постройки передают информацию о существовании предыдущих цивилизаций следующим поколениям. [19].

В некоторых библиографических источниках [15-17] указано, что помимо средств прихожан церковь построена частично средствами помещика Еремеева. Из архивного дела о постройке нового храма в селе Ивановском Свияжского уезда2 мы узнаем, что род Еремеевых, а именно Павел Иванович Еремеев владел селом Ивановское со второй половины XIX века. Он являлся действительным статским советником, крупнейшим землевладельцем Казанского края, также у него были земли в Тверской губернии, имелся особняк в Санкт-Петербурге. В XX веке, уже Георгий Дмитриевич Еремеев, являлся земским начальником третьего участка свияжского уезда и председателем попечительства и пожертвовал внушительные средства для ремонта церкви в 1901-1905 годах, однако информация о том, что на строительство храма семья Еремеевых выделила часть средств отсутствует, и этот факт маловероятен, ведь род Еремеевых стал владеть селом в XIX веке, а церковь построена в XVIII веке при владельцах Молоствовых. Также эти источники [15-17] указывают на вторую дату возведения храма – 1786г, но в самых ранних найденных архивах[3], а также в Справочных книгах по Казанской Епархии за 1900г и 1909г [20-21] указано, что год строительства церкви – 1732.

В Духовных ведомостях Свияжского уезда3 в скобках указывается другое название села – Молоствово, на исторических картах это название также встречается. Дело в том, что ранее село принадлежало известному дворянскому роду Молоствовых, который происходит из Новгорода и восходит к XV веку. В XIX веке семья Молоствовых владела крупными усадьбами в Казанской губернии, среди которых Никольское, Долгая Поляна, Куралово, Щербеть, Три Озера.

Рис. 1. Церковь Иоанна Златоуста. Автор: Александр Халимов. (Источник: https://sobory.ru/photo/306038).
Fig.1. Church of John Chrysostom. Author: Alexander Khalimov. (Source: https://sobory.ru/photo/306038).

[1]Ведомость о церкви Златоустовской, казанской губернии Свияжского уезда села ивановского за 1843 год, 1843г. // ГА РТ Ф. 4. Оп. 35. Д. 60. Л. 66.
[2] О постройке нового храма в с. Ивановском, Свияжского уезда. 1901г. // ГА РТ Ф. 4. Оп. 133. Д. 53.
[3] Духовные ведомости Свияжского уезда Казанской губернии за 1778 год. 1778г. // ГА РТ Ф. 4. Оп. 13. Д. 2.

Село Ивановское основано в XVII веке. До 1920 г. являлось центром Ивановской волости Свияжского уезда Казанской губернии [22], что являлось высоким статусом в те времена. Был найден архивный документ за 1894 год – «Опись недвижимого имения и движимого имущества, оставшегося после умершего Тайного Советника Дмитрия Павловича Еремеева и принятого в Опекунское Управление».4 Исходя из этого документа можно составить картину о селе в XIX веке (его домах, садах, вспомогательных постройках). В основном все жилые дома были деревянные на каменном фундаменте, крыты тесом или железом. Встречаются одноэтажные, двухэтажные, с мезонином, шестистенные, пятистенные, четырехстенные жилые дома. Из вспомогательных построек указаны мукомольная мельница на р. Свияге, конюшни, курятник, каретник, сарай, амбар, баня, караулка, хлев, кузница, слесарня. В начале XX века в селе было 162 двора, в нем проживало около тысячи жителей. Здесь располагалось волостное правление, церковь Иоанна Златоуста (построена в 1732 г., памятник архитектуры), земская школа (открыта в 1882 г.), кузница, водяная мельница, бакалейная, 3 мелочные, казённая винная, 2 пивные лавки, базар по четвергам [22].

На панорамах села храм выделяется силуэтом двух доминант – храмовой части и колокольни. Видовые раскрытия на церковь с севера, юга, запада и востока с одинаковым углом обзора, так как памятник располагается на холме. Село с перепадом высот до 20м. В низине располагаются жилые дома. С восточной стороны церкви находится могила последнего священника Златоустинской церкви, выпускника Казанской духовной семинарии 1898 года Елевферия Алексеевича Азбукина (ок.1880-1935?). Ранее храм был обнесен каменной оградой, которая в настоящее время полностью утрачена.

Натурными исследованиями установлено, что три части храма – основной объем, трапезная и колокольня – построены в разное время, но в библиографических источниках данная информация отсутствует.

Изначально был выстроен основной объем церкви в 1732г. Церковь была холодная однопрестольная, освященная в честь Святителя Иоанна Златоуста. Об этом можно судить по пристроенной позже трапезной и расширенному проему с западной стороны высотой ~1,5 м, из чего можно предположить, что рельеф участка был изменен при расширении церкви, и ранее вход в храм располагался намного ниже. В ходе натурного исследования выдвинуто предположение о перекладке наружной версты, т.к. высота десяти рядов кирпичной кладки по фасадам и с внутренней стороны наружных стен различаются (940мм снаружи и 840 мм изнутри). Церковь была построена с типичной композицией объемов того времени «восьмерик на четверике», с восьмигранным куполом, увенчанным главкой на глухом восьмигранном барабане. Первый ярус не характерен для первой половины XVIII в., так как он очень мал и имеет асимметричное расположение входных проемов, из-за которых и солея также асимметрична (солея белокаменная с одной ступенью и круглым амвоном), оконный проем только один с южной стороны. Апсида пятигранная, с одним оконным проемом в центральной части, что также выделяет церковь из ряда аналогичных, построенных в то же время, в которых чаще встречается 3 окна. С северной стороны в алтарной части в стене сохранился каменный умывальник для омовения рук и уст, что встречается также довольно редко. Сама алтарная часть со следами перестроек.

Натурные исследования показывают, что все части храма возводились в разное время, так как один объем пристроен к другому, не везде с перевязкой, однако в трапезной конструкция окон такая же, как и у основного объема. Также не сильно различаются размеры десяти рядов кирпичной кладки, из чего можно сделать вывод, что трапезная возводилась в XVIII веке, причем ненамного позже от первоначального объема. Что касается колокольни, то по композиции объемов и по остаткам декора можно судить, что она относится к XVIII веку. Размеры кирпича также не сильно отличаются от церкви и трапезной. Соответственно, все три объема возводились в XVIII веке.

[4]Опись недвижимого имения и движимого имущества, оставшегося после умершего Тайного Советника Дмитрия Павловича Еремеева и принятого в Опекунское Управление, 1894 г. // Ф. 140. Оп. 1. Д. 1042.

Трапезная теплая одноярусная четырехугольная в плане, асимметричная из-за примыкающего к ней северного придела с полукруглой апсидой, освященного в честь Великомученицы Екатерины.

Колокольня трехъярусная с восьмигранным куполом, увенчанным главкой на глухом высоком и стройном цилиндрическом барабане. С северной стороны расположена обрушенная внутристенная каменная лестница на колокольню, с южной стороны - заложенный арочный проем. Над главным входом располагается большая прямоугольная ниша – киот. Как было сказано выше, исходя из натурных исследований, колокольня возведена в XVIII веке, однако во всех найденных библиографических источниках советского и нашего времени [4; 15-18] и в паспорте памятника истории и культуры 1990г.[5] указывается, что колокольня возведена в 1896 году в стиле эклектики по проекту архитектора Ф.Н. Малиновского и инженера Л.Д. Хрщоновича. Также на официальном сайте Комитета Республики Татарстан по охране объектов культурного наследия в списке выявленных объектов культурного наследия Республики Татарстан датировка выявленного объекта культурного наследия указано как «Церковь Св. Иоанна Златоуста, 1732 г., 1896 г.».

В ходе архивных исследований церкви Иоанна Златоуста авторами было проанализировано архивное дело «О постройке колокольни к церкви в селе Ивановском»[6] (рис. 2.), ссылка на которое приведена в указанном выше паспорте памятника истории и культуры и каталоге-справочнике Церкви Республики Татарстан [4, с. 121]. Авторы паспорта, а вслед за ними последующие справочные издания ошибочно отнесли дело о постройке колокольни 1896 года к церкви Иоанна Златоуста в селе Ивановское Верхнеуслонского района Республики Татарстан (ранее – Свияжского уезда), в то время как в деле 1896 года содержится проект колокольни другой церкви - в селе Ивановском Цивильского уезда, а не Свияжского. В настоящее время это Церковь Святого Николая Чудотворца в селе Иваново Цивильского района Республики Чувашия, которая находится в аварийном состоянии и практически полностью разрушена.

Рис. 2. Южный фасад каменной колокольни, предполагаемой к постройке при существующей каменной церкви в с. Ивановском в Цивильском уезде Казанской губернии. (Источник: ГА РТ, Ф. 2. Оп. 14. Д. 595. «О постройке колокольни к церкви в селе Ивановском»)

Fig. 2. The southern facade of the stone bell tower, proposed to be built next to the existing stone church in the Ivanovskoye village in Tsivilsky district of Kazan province. (Source: State Archive of the Republic of Tatarstan, F. 2. Inv. 14. № 595. “On the construction of a bell tower for the church in the village of Ivanovskoye”)

[5]Паспорт памятника истории и культуры. Церковь Иоанна Златоуста, 1990г. // Памятники истории и культуры Республики Татарстан № 1.66-15-3.4.

[6]О постройке колокольни к церкви в селе Ивановском, 1896г. // ГА РТ Ф. 2. Оп. 14. Д. 595.

В архивном документе духовных ведомостей за 1843г.[7] есть записи о колокольне: «1. Построена 1732 года тщанием прихожан. 2. Каменная с таковою же колокольнею, крепка.», что является еще одним доказательством, что она построена гораздо раньше указанной во всех официальных источниках даты.

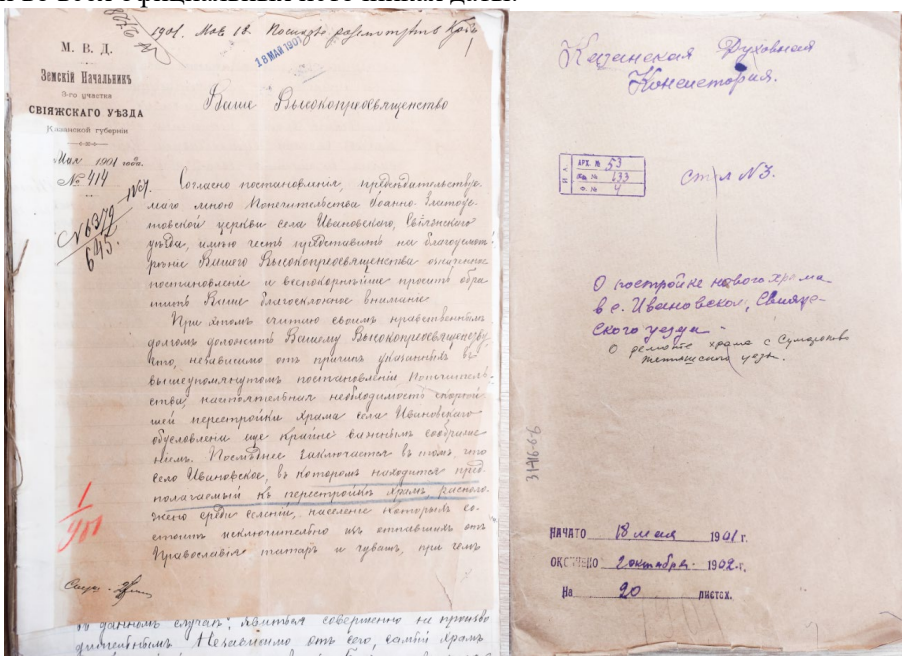


Рис. 3. ГА РТ Ф. 4. Оп. 133. Д. 53 «О постройке нового храма в с. Ивановском, Свияжского уезда»
Fig. 3. State Archive of the Republic of Tatarstan F. 4. Inv. 133. № 53 “On the construction of a new church in the village of Ivanovskoye, Sviyazhsky district”

Еще одним важным архивным документом оказалось дело «О постройке нового храма в с. Ивановском, Свияжского уезда»[8] (рис. 3) 1901г, из которого мы узнаем, что 23 апреля 1901г была сильная буря, которая снесла часть крыши с церкви Иоанна Златоуста. И без этого состояние храма было неудовлетворительное – накренены южные стены алтаря, карнизы колокольни и храма обвалились. Храм был мал и большинству молящихся, за неимением места в храме, приходилось стоять в притворе, на паперти и даже вне церкви под открытым небом, под дождем или снегом. В зимнее время храм был чрезвычайно холоден, так как от ветхости стены промерзали, и в образовавшихся местами трещины и щели задувал снег, образующий на внутренних стенах подтеки и ускоряющий дальнейшее разрушение.

После наружного ремонта храма в 1902 году поменяли сгнившие стропила, исправили проржавевшую крышу и обвалившуюся штукатурку, произвели окраску. Во время ремонта внутри церкви в 1905 году оштукатурили весь холодный храм; исправили и окрасили каменные полы в холодном и теплом храмах; стены в обоих храмах выкрасили масляной краской. Очевидно, что остатки цементной штукатурки в отделке фасадов и профилированных наличников из того же раствора относятся к этому последнему ремонту церкви, когда она была еще действующей.

Найденные в процессе исследования архивные документы помогают не только выстроить достоверную периодизацию, установить датировку частей памятника, но и проясняют причины такого колоссального объема утрат кирпичного декора XVIII века и наружной версты кирпича на фасадах. Описания состояния храма в деле 1901 года показывают, что проблемы с выкрашиванием кирпича на фасадах проявляли себя еще в XIX столетии, о чем свидетельствуют также обширные перелицовки фасадов с полной заменой наружной версты на больших площадях.

[7] Ведомость о церкви Златоустовской, казанской губернии Свияжского уезда села ивановского за 1843 год // ГА РТ, Ф. 4; оп. 35; д. 60

[8] ГА РТ Ф. 4. Оп. 133. Д. 53 «О постройке нового храма в с. Ивановском, Свияжского уезда», 1901 г.

Рис. 4. Фотографии Церкви Иоанна Златоуста 1990г. (Источник: Паспорта памятника. Церковь Иоанна Златоуста, 1990г. // Памятники истории и культуры Республики Татарстан № 1.66-15-3.4.).
Fig. 4. Photos of the Church of St. John Chrysostom, 1990 (Source: Passports of the monument. Church of St. John Chrysostom, 1990 // Monuments of history and culture of the Republic of Tatarstan No. 1.66-15-3.4.).

25 января 1990 года был произведен технический смотр храма (рис. 4). В то время он уже не использовался. В интерьере сохранились следы росписи стен масляной краской. Сохранились кованные ажурные кресты, переплеты окон на восемь квадратов и остатки фальцевой кровли на колокольне, уложенные по деревянной обрешетке. К этому времени были утрачены перекрытие и кровля трапезной, паперть, отмостка, система водоотведения; северный придел наполовину разрушен[9].

Таким образом, все перестройки и поновления храма можно с уверенностью отнести к его бытованию в XVIII – нач. XX столетиях так же, как и основные утраты кирпичного декора периода московского барокко.

4. Заключение

По итогам данной работы получены следующие результаты (выводы):

1. выполнено комплексное историко-архитектурное исследование памятника;

2. выявлены и введены в научный оборот ранее не публиковавшиеся архивные документы 1778, 1843 1901 гг., относящиеся к Златоустовской церкви, которые были полностью расшифрованы, детально изучены, получена объективная информация об истории бытования памятника. Все архивные документы были сопоставлены с данными натурных исследований и сделаны соответствующие выводы;

3. выявлена и доказана ошибка в датировке возведения колокольни, которая присутствует во всех библиографических источниках, исследованием памятника в натуре установлено и подтверждено архивными документами, что колокольня церкви возведена в XVIII в.

[9] Паспорт памятника истории и культуры. Церковь Иоанна Златоуста, 1990г. // Памятники истории и культуры Республики Татарстан № 1.66-15-3.4.

Список литературы/ References

1. Rolando Volzone, Olimpia Niglio, Pietro Becherini. Integration of knowledge-based documentation methodologies and digital information for the study of religious complex heritage sites in the south of Portugal // Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage Volume 24, March 2022, e00208 https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00208
2. Elif Acar Bilgin, Figen Kıvılcım Çorakbaş (2023) Between demolition and (un)intended conservation: the approach of the Ottoman state to the Istanbul city walls in the light of the nineteenth-century archival documents, Journal of Architectural Conservation, 29:2, 122-137, DOI: 10.1080/13556207.2022.2111822
3. A. Luciani, E. Poma. Sub-Arctic architecture in detail. Erskine's disappearing architectural and constructional legacy in Kiruna, Journal of Architectural Conservation, 29:3, 275-300, DOI: 10.1080/13556207.2023.2208466
4. Церкви Республики Татарстан: каталог-справочник: в 2 томах / под общ. ред. Ю.А. Егорушкина [и др.] / авторы-составители В.М. Михайлова, Р.Р. Раимова, А.Т. Зайдуллина. – Казань: Фолиант, 2015. – Т.1. – 320 с. – УДК 726.03. – ББК Ч 79 Ц44 [Churches of the Republic of Tatarstan: catalogue-reference book: in 2 volumes / under general. ed. Yu.A. Egorushkina [and others] / authors-compilers V.M. Mikhailova, R.R. Raimova, A.T. Zaidullina. – Kazan: Foliot, 2015. – T.1. – 320 p. – UDC 726.03. – BBK Ch 79 Ts44]
5. Gianni Gallello, Mirco Ramacciotti, Marco Lezzerini, Emilia Hernandez, Matias Calvo, Angel Morales, Agustin Pastor, Miguel de la Guardia. Indirect chronology method employing rare earth elements to identify Sagunto Castle mortar construction periods. Microchemical Journal. Volume 132, May 2017, P. 251-261. DOI: https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.02.009
6. Nimet Gökçe Korkmaz, Nail Mahir Korkmaz, Baris Sayin, Oguz Uzdil. A comprehensive proposal for rehabilitation of historic Armenian church belonging to 16th century AD (Diyarbakır, Turkey). Structures. Volume 50, April 2023, P. 118-147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.02.021
7. Антонова С.А. История создания церкви Рождества Христова в селе Вишняково. Научная статья // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2015. № 3 (53): в 3-х ч. Ч. I. С. 30-33. ISSN 1997-292X [Antonova S.A. The history of the creation of the Church of the Nativity in the village of Vishnyakovo. Scientific article // Historical, philosophical, political and legal sciences, cultural studies and art history. questions of theory and practice. Tambov: Gramota, 2015. № 3 (53): in 3 parts. p. I. P. 30-33. ISSN 1997-292X]
8. Батурова В.А. О Благовещенской церкви в Сновицах. Научная статья // Вестник ПСТГУ. Серия V: Вопросы истории и теории христианского искусства. Москва, 2022. Вып. 46. С. 34–50. DOI: 10.15382/sturV20224 6.34-50 [Baturova V.A. About the Church of the Annunciation in Snovitsy. Scientific article // Vestnik PSTGU. Series V: Issues of the History and Theory of Christian Art. Moscow, 2022. Release 46. P. 34–50. DOI: 10.15382/sturV20224 6.34-50]
9. Давыдов А.И. Еще раз к вопросу о датировке и строителях Рождественской Строгановской церкви в Нижнем Новгороде. Научная статья // Нижегородский краевед. Сборник научных статей. Том Выпуск 5. Нижний Новгород: Центр краеведческих исследований ИМОМИ ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. С. 19-26 [Davydov A.I. Once again to the question of dating and builders of the Nativity Stroganov Church in Nizhny Novgorod. Scientific article // Nizhny Novgorod local historian. Collection of scientific articles. Volume Issue 5. Nizhny Novgorod: Center for Local Lore Research IMOMI UNN named after. N. I. Lobachevsky, 2020. P. 19-26]
10. Салимов А.М. Церковь Рождества Богородицы в Городне и проблема датировки памятника. Научная статья // Вестник славянских культур. Тверь: Филиал ГАСК в г. Твери; ОАО НРЦ «Тверьпроектреставрация», 2013. № 1 (27). С. 71-89. ISSN: 2073-9567 [Salimov A.M. Church of the Nativity of the Virgin in Gorodnya and the problem of dating the monument. Scientific article // Bulletin of Slavic cultures. Tver:

Branch of GASK in the city of Tver; OAO NRC "Tverproektrestavratsiya", 2013. № 1 (27). P. 71-89. ISSN: 2073-9567]

11. Днепровский Н.В. К вопросу о строительной периодизации храма "Трёх всадников" на городище Эски-Кермен. Научная статья // Спелеология и спелестология. Санкт-Петербург: Русское географическое общество, 2021. № 2. С. 38-58. ISSN: 2713-0290 [Dneprovsky N.V. On the question of the construction periodization of the temple of the "Three Horsemen" at the settlement of Eski-Kermen. Scientific article // Speleology and spelestology. St. Petersburg: Russian Geographical Society, 2021. № 2. P 38-58. ISSN: 2713-0290]
12. Бодэ А.Б., Жигальцова Т.В. Церковь Тихвинской Иконы Божьей Матери в деревне Юдмозеро Архангельской области. История и Архитектура. Научная статья // Studia Humanitatis Borealis. Петрозаводск: ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», 2020. № 3 (16). С. 17-27 [Bode A.B., Zhigaltsova T.V. Church of the Tikhvin Icon of the Mother of God in the village of Yudmozero, Arkhangelsk Region. History and Architecture. Scientific article // Studia Humanitatis Borealis. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2020. № 3 (16). P. 17-27]
13. Ёлшин Д.Д. Церковь Спаса на Берестове между киевской и полоцкой архитектурными традициями конца XI–XII века. Научная статья // Актуальные проблемы теории и истории искусства. Санкт-Петербург: Государственный Эрмитаж, 2021. № 11. С. 320-334. ISSN: 2312-2129. DOI: 10.18688/aa2111-03-26 [Yolshin D.D. Church of the Savior on Berestov between the Kievan and Polotsk architectural traditions of the late 11th-12th centuries. Scientific article // Actual problems of theory and history of art. St. Petersburg: State Hermitage Museum, 2021. № 11. P. 320-334. ISSN: 2312-2129. DOI: 10.18688/aa2111-03-26]
14. Мыц В.Л. Амфоры-голосники из храма Иоанна Предтечи в Керчи и проблема датировки памятника. Научная статья // Археология евразийских степей. Санкт-Петербург: Государственный Эрмитаж, 2022. № 4. С. 206-227. DOI: 10.24852/2587-6112.2022.4.206.227 [Myts V.L. Vase-like indentations from the Church of John the Baptist in Kerch and the problem of dating the monument. Scientific article // Archeology of the Eurasian steppes. St. Petersburg: State Hermitage Museum, 2022. № 4. P. 206-227. DOI: 10.24852/2587-6112.2022.4.206.227]
15. Хайрутдинов Р.Р., ред. Смыков Ю.И., ред. Таишев М.М., ред. Валеев Р.М. Республика Татарстан: памятники истории и культуры: Каталог-справочник (Коллективная монография) Казань: Эйдос, 1993. 456 с. [Khairutdinov R.R., red. Smykov Yu.I., red. Taishev M.M., red. Valeev R.M. Republic of Tatarstan: monuments of history and culture: Catalog-reference book (Collective monograph) Kazan: Eidos, 1993. 456 p.]
16. Айнутдинов Р.А., Валеев Р.М., Хайрутдинов Р.Р., Надырова Х.Г., Чудинова Т.С. Свод памятников истории и культуры Республики Татарстан. – Т.1. – Административные районы. – Казань: «Мастер Лайн», 1999. 460 с. [Ainutdinov R.A., Valeev R.M., Khairutdinov R.R., Nadyrova H.G., Chudinova T.S. Code of monuments of history and culture of the Republic of Tatarstan. - T.1. - Administrative regions. - Kazan: "Master Line", 1999. 460 p.]
17. Тарунов А.М. – составитель и главный редактор. Объекты культурного наследия Республики Татарстан: Том I. Административные районы: Иллюстрированный каталог. Москва: НИИЦентр, 2017. 928 с. [Tarunov A.M. - Compiler and Editor-in-Chief. Cultural heritage sites of the Republic of Tatarstan: Volume I. Administrative districts: An illustrated catalogue. Moscow: NIICentre, 2017. 928 p.]
18. Черенков А.В. Православные храмы-памятники Казанского края. Казань: Центр инновационных технологий, 2013. 344 с. [Cherenkov A.V. Orthodox churches-monuments of the Kazan region. Kazan: Center for Innovative Technologies, 2013. 344 p.]
19. Alper Özmen, Erkut Sayın. Evaluation of material properties of cultural heritage building by destructive and non- destructive testing: Malatya Taşhoran Church case study. Construction and Building Materials. Volume 392, 15 August 2023, 131693. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131693

20. Священник Г.К. Богословский. Справочная книга для Казанской Епархии. Сведения о церквях, приходах, прихожанах, штатах причтов, наличном составе их, средствах содержания, школах и пр. Казань: типография Императорского университета, 1900. [Priest G.K. Bogoslovsky. Reference book for the Kazan Diocese. Information about churches, parishes, parishioners, clergy staff, their presence, means of maintenance, schools, etc. Kazan: printing house of the Imperial University, 1900.]
21. Справочная книга Казанской Епархии. Издания Казанской Духовной Консистории. Казань: типография: Д. М. Гран, Поп. – Владим. ул., 1909. [Reference book of the Kazan Diocese. Editions of the Kazan Spiritual Consistory. Kazan: printing house: D. M. Gran, Pop. - Vladim. st., 1909.]
22. Татарская энциклопедия // tatarica.org. URL: https://tatarica.org/ru/razdely/municipalnye-obrazovaniya/municipalnye-rajony/verhneuslonskij-rajon/ivanovskoe (дата обращения: 01.06.2023г.) [Tatar encyclopedia // tatarica.org. URL: https://tatarica.org/ru/razdely/municipalnye-obrazovaniya/municipalnye-rajony/verhneuslonskij-rajon/ivanovskoe (reference date: 06/01/2023)]

Информация об авторах

Воронина Анастасия Сергеевна, магистрант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
Email: architect-ann@mail.ru
Персова Светлана Глебовна, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
Email: spersova@yahoo.com

Information about the authors

Anastasia S. Voronina, graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: architect-ann@mail.ru
Svetlana G. Persova, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: spersova@yahoo.com

УДК: 725
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_176
EDN: JCPBUW

Функционально-технологические особенности специализированных центров испытания технических систем

А.М. Сулейманов[12], Е.Д. Сулейманова[1], Д.Г. Ширеева[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* При определении принципов архитектурно-планировочной организации научно-производственных комплексов, каковыми, в сущности, и основным формам являются центры испытания технических систем, необходимо раскрыть функционально-технологическое назначение таких комплексов, а также основные элементы инфраструктуры и их техническое оснащение. Данная статья посвящена архитектурно-планировочной организации строительства специализированных центров испытания технических систем. *Целью работы* является выявление функционально-технологических особенностей специализированных центров испытания технических систем для разработки, архитектурно-планировочной организации таких центров как отдельного объекта проектирования. *Задачи исследования:* классифицировать основные элементы инфраструктуры центров испытания технических систем; определить их техническое оснащение; разработать логистика схем организации и взаимодействия основных элементов инфраструктуры центров испытания технических систем.
Результаты. Выявлены функционально-технологические особенности специализированных центров испытания технических систем с целью разработки архитектурно-планировочной организации таких центров как отдельного объекта проектирования. Классифицированы основные элементы инфраструктуры объекта исследования, а также определено их техническое оснащение.
Выводы. Значимость полученных результатов состоит в том, что впервые выявлены функционально-технологические особенности, а также разработана логистика схем организации и взаимодействия основных элементов инфраструктуры центров испытания технических систем, что позволит сформировать принципы архитектурно-планировочной организации таких центров как отдельного объекта проектирования.

Ключевые слова: центры испытания технических систем, функционально-технологические особенности, элементы инфраструктуры, схема организации, техническое оснащение

Для цитирования: Сулейманов А.М., Сулейманова Е.Д., Ширеева Д.Г. Функционально-технологические особенности специализированных центров испытания технических систем // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 176-187, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_176, EDN: JCPBUW

Functional and technological features of specialized testing centers for technical systems

A.M. Suleymanov[12], E.D. Suleymanova[1], D.G. Shireeva[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* When determining the principles of architectural and planning organization of research and production complexes, the main forms of which, in essence, are centers for testing technical systems, it is necessary to identify the functional and technological purpose of such complexes, as well as the main elements of infrastructure and their technical equipment. This article is devoted to the architectural and planning organization of the construction of specialized centers for testing technical systems. The functional and technological features of specialized centers for testing technical systems have been identified. The research objectives are to classify the main elements of the infrastructure of technical systems testing centers; determine their technical equipment; develop logistics schemes for the organization and interaction of the main elements of the infrastructure of technical systems testing centers.
Results. Based on the analysis of world experience in the creation and operation of domestic and foreign laboratories, sites and test sites for testing the reliability of various materials, products and structures, the main elements of the infrastructure of the research object are classified, and their technical equipment is determined. Functional and technological features have been identified and logistics schemes for the organization and interaction of the main elements of the infrastructure of technical systems testing centers have been developed.
Conclusions. The significance of the results obtained for architectural science lies in the fact that for the first time, functional and technological prerequisites have been identified, and logistics schemes for the organization and interaction of the main elements of the infrastructure of technical systems testing centers have been developed, which will make it possible to formulate the principles of the architectural and planning organization of such centers as a separate design object.

Key words: technical systems testing centers, functional and technological features, infrastructure elements, organization diagram, technical equipment

For citation: Suleymanov A.M., Suleymanova E.D., Shireeva D.G. Functional and technological features of specialized testing centers for technical systems // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 176-187, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_176, EDN: JCPBUW

1. Введение

Испытания на надежность и долговечность различных материалов, изделий и конструкций проводят в специализированных лабораториях и полигонах – центрах испытания технических систем [1]. Основной задачей этих центров является проведение испытаний, целью которых является оценка стойкости к различным факторам внешней среды различных объектов испытаний [2-4]. На сегодняшний день испытания на надежность и долговечность проводятся практически во всех отраслях промышленности при освоении и серийном производстве новых технических систем [5-7], например: судостроении [8-10], газотранспортной системе [11-13], при испытаниях военной техники [14-16], авиации [17-19] и космической техники [20-22], строительстве и других отраслях.

Разработка современного облика инфраструктурного обеспечения и стендовой базы является неотъемлемой и необходимой частью развития этого направления. В тоже время, на сегодняшний день, отсутствуют принципы архитектурно-планировочной организации таких центров как отдельного объекта проектирования, а также функциональные и конструктивные требований к их архитектурным решениям.

Испытательные центры технических систем, в сущности, и основным формам являются научно-производственными комплексами архитектурно-планировочное решения которых зависят от функционально-технологических особенностей всего комплекса.

В работе [23] сопоставлены основные принципы и правила архитектурной и градостроительной организации современных небольших предприятий с принципами формирования крупных комплексных предприятий предыдущего этапа для подтверждения качественного характера изменений в промышленной архитектуре. Этапы исторического развития и становления инновационных центров как нового архитектурного образования, а также основные принципы и приемы архитектурно-планировочной организации таких центров рассмотрены в работе [24]. В работе [25] рассматриваются принципиальные вопросы проектирования современных производственных предприятий в городской среде. Приводятся эффективные приемы повышения гибкости структуры здания, возможности организации производства в составе многофункциональных городских пространств и определяются архитектурные приемы экологизации производственных объектов.

Архитектурно-планировочная организация центров испытания технических систем будет иметь свою специфику, связанную с особенностями их функционально-технологического назначения. Функциональное назначение центров испытания технических систем должно позволять оценить стойкость объектов испытаний к климатическим и биологическим факторам, а также факторам специальных сред согласно ГОСТ 26883 и, как правило, в напряженно-деформированном состоянии испытываемых изделий и конструкций. Функционально-технологический процесс в таких сложных системах строится по определенной закономерной схеме последовательных и параллельных действий. Специфику этих процессов можно уточнять из существующей методологии проведения испытаний и имеющихся нормативных документов, например ГОСТ 9.906, ГОСТ 9.708, ГОСТ 9.053, ASTM G7/G7M и др., а также анализа мирового опыта создания и эксплуатации отечественных [26,27] и зарубежных [28,29] лабораторий, площадок и полигонов для испытания на надежность различных материалов, изделий и конструкций.

Целью работы является выявление функционально-технологических особенностей специализированных центров испытания технических систем для разработки, архитектурно-планировочной организации таких центров как отдельного объекта проектирования.

Задачи исследования:

- на основе анализа мирового опыта создания и эксплуатации отечественных и зарубежных лабораторий, площадок и полигонов для испытания на надежность различных материалов, изделий и конструкций классифицировать основные элементы инфраструктуры;
- определить их техническое оснащение;
- разработать логистику схем организации и взаимодействия основных элементов инфраструктуры центров испытания технических систем.

2. Материалы и методы

В статье использованы материалы зарубежных и отечественных источников по объектам существующих центров испытаний технических систем. Выявление объектов инфраструктуры выполнено методам выборки и систематизации их из опубликованных оцифрованных источников, находящихся в свободном доступе.

Исследование построено на основах теории и практики испытаний сложных технических систем и существующих отечественных и зарубежных стандартах по испытанию материалов, изделий и конструкций, а также разработках авторов по методам моделированию условий эксплуатации данных систем.

3. Результаты и обсуждение

Проведенный анализ мирового опыта создания и эксплуатации отечественных и зарубежных лабораторий, площадок и полигонов для испытания на надежность

различных материалов, изделий и конструкций позволил выявить следующие основные этапы для формирования архитектурно-планировочной организации центров испытания технических систем:

- функционально-технологическое назначение;
- основные элементы инфраструктуры;
- техническое оснащение;
- логистика схем организации и взаимодействия основных элементов инфраструктуры.

Функционально-технологическое назначение центров испытания технических систем должно обеспечивать:

1) возможность оценки стойкости объектов испытаний к климатическим, биологическим факторам и специальным средам, оценивать степень и характер произошедших изменений свойств;

2) определение исходных свойства объектов испытаний;

3) позволять проводить испытания с воздействием климатических и биологических факторов и специальных сред в натурных, натурно-имитационных и лабораторных условиях;

4) позволять определять свойства объектов испытаний после воздействия климатических и биологических факторов и специальных сред в натурных, натурно-имитационных и лабораторных условиях.

При этом основными объектами испытаний целесообразно выбирать материалы и их соединения, поскольку от их свойств будут зависеть характеристики, получаемых из них конструкций, узлов, агрегатов и деталей.

Атмосферные испытательные полигоны центров на открытом пространстве рекомендуется размещать на территории представительных и (или) экстремальных пунктов климатических районов по ГОСТ 16350 и ГОСТ 24482.

Основными элементами инфраструктуры центров испытания технических систем являются:

- корпус научно-исследовательских лабораторий;
- атмосферный испытательный полигон на открытой площадке;
- микологический испытательный полигон закрытого типа;
- корпус лаборатории по испытанию крупногабаритных технических систем;
- административно-бытовой комплекс;
- вспомогательных сооружений и транспортные системы для обеспечения жизнедеятельности центра.

Основные элементы инфраструктуры центров испытания технических систем устанавливались в соответствие с требованиями ГОСТ 9.906. Базируясь на эти требования, была составлена перечень зданий и сооружений испытательных центров с введением дополнительных элементов инфраструктуры, учитывающие функционально-технологическое назначение центров, а также вспомогательных сооружений. Элементы инфраструктуры центров испытания технических систем представлены в таблице 1.

Техническое оснащение центров испытания выбиралось на основе требований ГОСТ 9.906 с учетом современного функционально-технологического назначения такого рода научно-производственных комплексов.

Логистика схем организации и взаимодействия основных элементов инфраструктуры центров испытания технических систем.

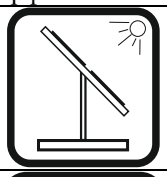
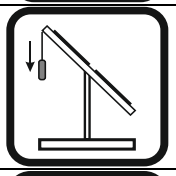
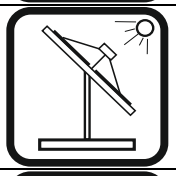
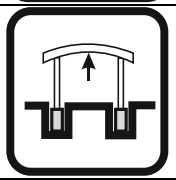
При разработке схем организации (размещения зданий и сооружений (основного, вспомогательного, подсобного, складского и обслуживающего назначения)) лабораторных и испытательных участков центров испытания технических систем необходимо руководствоваться следующими принципами:

- выполнение требований к архитектурным решениям центров испытания технических систем;
- выполнение требований к вспомогательным сооружениям центров испытания технических систем;

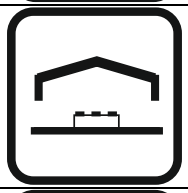
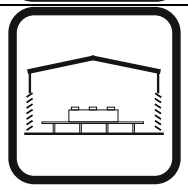
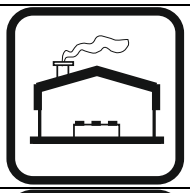
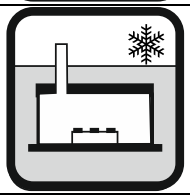
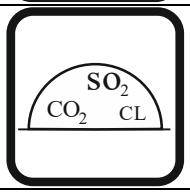
- сооружения и участки должны размещаться так, чтобы обеспечить кратчайший путь движения материалов и наименьший пробег транспортных средств, без обратного и встречного движения, излишних пересечений;
- отдельные лаборатории и участки, тесно взаимосвязанные в ходе технологического процесса, должны по возможности объединяться в группы и размещаться как можно ближе друг к другу.
- схема организации должна предусматривать рациональную организацию движения людей, материалов и автотранспорта;
- склады материалов должны располагаться у мест наибольшего потребления;
- размещение сооружений и участков на территории по ходу технологического процесса согласно направлению основных грузопотоков: склад – участок изготовления образцов – лаборатории и испытательные участки – склад;
- размещение складов рядом с въездом/выездом на территорию.

Таблица 1

Элементы инфраструктуры центров испытания технических систем

Элементы инфраструктуры	Интерфейсные иконки
Участок открытых стендов (с солнечным трекером)	
Участок стендов для испытаний под напряжением	
Участок стендов с солнечными концентраторами	
Участок стендов с Black Box	
Участок стендов с системой дождевания образцов	
Участок для силового пола	
Участок для экспозиции крупногабаритных узлов и конструкций	

Окончание таблицы 1

Микологическая станция	
Стенды под навесом	
Жалюзийная будка	
Хранилища, имитирующие условия хранения в отапливаемых помещениях	
Хранилища, имитирующие условия хранения в неотапливаемых помещениях (не энергоэффективные)	
Подземные неотапливаемые вентилируемые хранилища	
Участок для испытаний на воздействие эндемических факторов (вулканическая пыль, экологическое загрязнение, высокогорье, эрозия, водопад и пр.)	

Схемы организации разрабатывались на основе логистики этапов перемещения образцов материалов, изделий и конструкций технологического процесса испытаний в структурных подразделениях центров испытания технических систем.

Технология испытания технических систем принята на базе следующих методологий:

- натурное экспонирование на специализированных открытых полигонах станций размещенных в представительных пунктах соответствующих климатических зон;
- ускоренное испытание с моделированием эксплуатации технических систем в лабораторных условиях по форсированным режимам;
- натурно-ускоренные испытания на специализированных открытых полигонах с применением специализированного оборудования усиливающие энергетические значения натурных воздействующих факторов.

Для представления логистики этапов перемещения образцов материалов, изделий и конструкций разработаны интерфейсные иконки (таблица 1).

В таблице 2 и рисунке 1 представлены блок схемы передвижения материалов, изделий и конструкций в процессе их испытаний.

Согласно принятой блок–схеме:

Этап I. Поступление материалов, изделий и конструкций на климатические испытания.

Образцы материалов, изделий и конструкций через контрольно-пропускной пункт – 3 поступают на склад для образцов, материалов, изделий и конструкций – 6, где производится их пробоотбор, классификация и маркировка.

Этап II. Изготовление образцов для климатических испытаний и изготовление образцов для определения исходных характеристик.

Отобранные в 6 материалы и изделия отправляются в лабораторию изготовления и подготовки образцов – 12.4, где из них изготавливают образцы.

Этап III. Кондиционирование.

Изготовленные образцы, типоразмеры которых определяются по существующим стандартам методов последующих испытаний, отправляются в камеру кондиционирования образцов – 12.8.

Этап IV. Определение исходных характеристик.

Исходные характеристики образцов материалов и изделий (физико-механических и структурных) определяются в соответствующих лабораториях – 12.2, 12.3, 12,5 – 12,7 лабораторно-исследовательский корпус – 12.

Этап V. Климатические испытания в натурных условиях.

Изготовленные в (12.4) и, выдержанные в камере кондиционирования в (12.8), образцы материалов и изделий, автотранспортом (5) транспортируются в атмосферные испытательные полигоны открытого – 14 и закрытого типов - 15. В полигонах образцы устанавливаются на соответствующих стендах.

Отдельные узлы, элементы конструкций и конструкции транспортируются на площадку для экспозиции крупногабаритных узлов и конструкций с силовым полом – 14.8.

Этап VI. Ускоренные климатические испытания в лабораторных условиях

Изготовленные в (12.4) и, выдержанные в камере кондиционирования в (12.8), образцы материалов и изделий транспортируются в лабораторию ускоренных климатических испытаний (12.1) .

Этап VII. Изготовление образцов для определения показателей старения.

Через установленный интервал времени, состаренные образцы и изделия в натурных условиях (14, 15) и ускоренных лабораторных условиях (12.1) извлекают и транспортируют в лабораторию изготовления образцов – 12.4 для определения показателей старения.

Этап VIII. Кондиционирование.

Изготовленные образцы, типоразмеры которых определяются по существующим стандартам методов последующих испытаний, отправляются в камеру кондиционирования образцов – 12.8.

Этап IX. Определение показателей старения.

После кондиционирования в – 12.8 показатели старения образцов материалов и изделий (физико-механических и структурных) определяются в соответствующих лабораториях – 12.2, 12.3, 12,5 – 12,7 лабораторно-исследовательский корпус – 12.

Этап X. Хранение, транспортировка образцов (исходных, состаренных) заказчику.

Контрольные образцы (исходные и состаренные) отправляют на хранение в склад для образцов, материалов, изделий и конструкций – 6 и заказчику (3).

Таблица 2

Блок схема передвижения материалов, изделий и конструкций в процессе их испытаний

Этап	Процедура	Структурные подразделения
I	Поступление материалов, изделий и конструкций на климатические испытания: – пробоотбор; – классификация и маркировка;	Склад хранения образцов
II	Изготовление образцов для климатических испытаний; Изготовление образцов для определения исходных характеристик	Участок изготовления образцов
III	Кондиционирование	Лаборатория изготовления образцов
IV	Определение исходных характеристик	
	– физико-механических	Лаборатория физико-механических испытаний
	– состава и структуры	Лаборатория структурных, теплофизических и физико-химических методов анализа; Лаборатория исследования свойств покрытий; Лаборатория визуального и неразрушающих методов контроля; Лаборатория металлографии.
V	Климатические испытания в натурных условиях	Участок открытых стендов; Участок стендов для испытаний под механической нагрузкой; Участок стендов с Black Box; Участок стендов с системой дождевания образцов; Площадка для экспозиции крупногабаритных узлов и конструкций с силовым полом; Микологическая станция; Стенды под навесом; Жалюзийная будка; Хранилища, имитирующие условия хранения в отапливаемых помещениях; Хранилища, имитирующие условия хранения в неотапливаемых помещениях; Подземные неотапливаемые вентилируемые хранилища.
VI	Ускоренные климатические испытания в лабораторных условиях	Лаборатория ускоренных климатических испытаний
VII	Изготовление образцов для определения показателей старения	Лаборатория изготовления образцов – токарно-слесарный участок; – препараторская
VIII	Кондиционирование	Лаборатория изготовления образцов
IX	Определение показателей старения – физико-механических; – состава и структуры.	Лаборатория физико-механических испытаний; Лаборатория структурных, теплофизических и физико-химических методов анализа; Лаборатория исследования свойств покрытий; Лаборатория визуального и неразрушающих методов контроля; Лаборатория металлографии
X	Хранение, транспортировка образцов (исходных, состаренных) заказчику	Склад хранения образцов

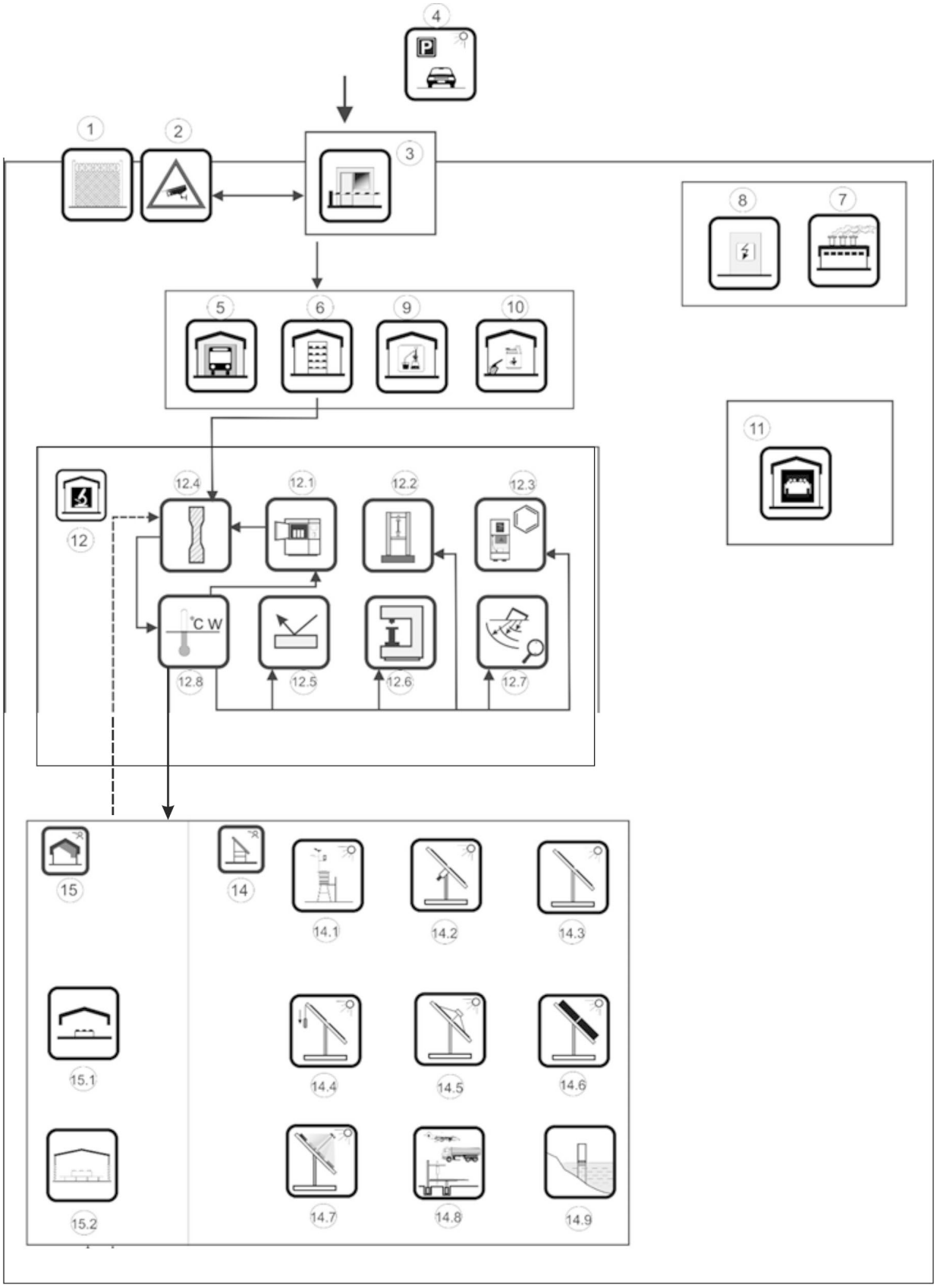


Рис.1. Схема движения материалов лабораторных и испытательных участков центров испытания технических систем (иллюстрация авторов)

Fig.1. Scheme of the movement of materials in laboratory and testing areas of technical systems testing centers (illustration by the authors)

4. Заключение

1. На основе анализа мирового опыта создания и эксплуатации отечественных и зарубежных лабораторий, площадок и полигонов для испытания на надежность различных материалов, изделий и конструкций выявлены функционально-технологические особенности специализированных центров испытания технических систем с целью разработки архитектурно-планировочной организации таких центров как отдельного объекта проектирования.

2. На основе анализа существующих отечественных и зарубежных нормативных документов по испытанию на надежность различных материалов, изделий и конструкций классифицированы основные элементы инфраструктуры центров испытания технических систем, а также определены их техническое оснащение.

3. Разработана логистика схем организации и взаимодействия основных элементов инфраструктуры центров испытания технических систем.

Список литературы/ References

1. Теоретические основы испытаний и экспериментальная обработка сложных технических систем. Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.Г. Кузнецов и др.: - М.: Логос, 2003. – 736 с. ISBN 5-94010-145-3 [Theoretical foundations of testing and experimental processing of complex technical systems. L.N. Alexandrovskaya, V.I. Kruglov, A.G. Kuznetsov et al.: - M.: Logos, 2003. – 736 p. ISBN 5-94010-145-3]
2. Suleimanova, Elena & Shireeva, Dilyara. (2021). Functional and technological prerequisites for architectural and space-planning design of test centers for technical systems. E3S Web of Conferences. 274. 01028. 10.1051/e3sconf/202127401028
3. Метод повышения эффективности процесса испытания опытных образцов сложных технических систем. Старусев А.В., Михолап Л.А., Кислов О.В., Лобейко В.И. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2018. № 13 (223). С. 21-23. [Method for increasing the efficiency of the process of testing prototypes of complex technical systems. Starusev A.V., Mikholap L.A., Kislov O.V., Lobeiko V.I. News of Volgograd State Technical University. 2018. No. 13 (223). P. 21-23.]
4. Klyatis, Lev. (2011). Equipment for Accelerated Reliability (Durability) Testing Technology. 10.1002/9780470541609.ch5.
5. Proactive Fault Diagnosis of a Radiator: A Combination of Gaussian Mixture Model and LSTM Autoencoder October 2023 Sensors 23(21):8688 DOI:10.3390/s23218688
6. Czarnuch, Arkadiusz & Stembalski, M. & Szydłowski, Tomasz & Batory, Damian. (2023). Analysis of the Correctness of Mapping the Passage of a Semi-Trailer through a Road Obstacle on a Road Simulator. Sensors. 23. 8225. 10.3390/s23198225
7. Implementation Successful Prediction of Product Efficiency, Accelerated: Reliability and Durability Testing, and Accurate Simulation. January 2023. DOI:10.1007/978-3-031-16655-6_6 In book: Prediction Technologies for Improving Engineering Product Efficiency (pp.193-261) Lev M. Klyatis
8. Саламех А. Экспериментальная установка для исследования долговечности материала судовых надстроек / А. Саламех, М. Алсаид, В. А. Петровский // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 2. — С. 264–271. DOI:10.21821/2309-5180-2022-14-2-264-271. [Salamekh A. Experimental installation for studying the durability of the material of ship superstructures / A. Salamekh, M. Alsaid, V. A. Petrovsky // Bulletin of the State University of Sea and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov. - 2022. - Vol. 14. - No. 2. - P. 264–271. DOI:10.21821/2309-5180-2022-14-2-264-271.]
9. Durability and flammability evaluation of SGA structural adhesive joints consisting of a thick adhesive layer for shipbuilding February 2019 The Journal of Adhesion 95(5-7):1-18 DOI:10.1080/00218464.2019.1581067
10. Souto-Silvar, Daniel & Álvarez-García, A. & Díaz-Díaz, Ana & Rodríguez-Dopico, Francisco & López-Beceiro, Jorge. (2023). Application of the Time–Temperature Superposition Principle to Predict Long-Term Behaviour of an Adhesive for Use in

Shipbuilding. Arabian Journal for Science and Engineering. 10.1007/s13369-023-08219-4.
11. Унификация процедур проведения испытаний средств технического диагностирования в системе управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы. Вялых И.Л., Лазарев В.Л., Ремизов А.Е., Дейнеко С.В. Промышленный сервис. 2014. № 3 (52). С. 40-45. [Unification of procedures for testing technical diagnostic tools in the system for managing the technical condition and integrity of the gas transportation system. Vyalykh I.L., Lazarev V.L., Remizov A.E., Deineko S.V. Industrial service. 2014. No. 3 (52). P. 40-45.]
12. Kotukh, Volodymyr & Kaptsova, Natalia & Donskoy, Dmitry & Paleyeva, Kateryna. (2021). Assessment of the impact of technological heredity on indicators of reliability, durability and environmental safety of elements of gas transmission systems. Bulletin of the National Technical University KhPI Series Chemistry Chemical Technology and Ecology. 60-66. 10.20998/2079-0821.2021.02.08.
13. Pirumyan, Narine & Stakyan, Mihran & Yazyev, Batyr. (2022). Reliability Enhancement of the Operation of Main Pipelines in Order to Ensure the Sustainable Development of the Gas Transmission System. 10.1007/978-3-031-11058-0_130.
14. Метод оценивания динамики интенсивности отказов военно-технических систем при отработочных испытаниях. Сухорученков Б.И. Двойные технологии. 2005. № 1 (30). С. 27-34. [Method for assessing the dynamics of failure rates of military-technical systems during development tests. Sukhoruchenkov B.I. Dual technologies. 2005. No. 1 (30). P. 27-34.]
15. Velardocchia, Mauro & Bonisoli, Elvio & Tota, Antonio & Lisitano, Domenico & Paciullo, Genny & Trevisi, Marco. (2023). PSD Profiles for Dynamic and Durability Tests of Military Off-Road Vehicle Racks. 10.4271/2023-01-0107
16. Quoc la, Tiep & Cu, Xuan. (2023). The Remaining Useful Life of Military Technical Equipment and Prediction Methods. 1-8. 10.1109/ICMT58149.2023.10171267.
17. Ebner, Kathrin & Koops, Lily. (2022). Potentials of Prognostics and Health Management for Polymer Electrolyte Fuel Cells in Aviation Applications. Aircraft Engineering and Aerospace Technology. 10.1108/AEAT-01-2022-0020.
18. Naik, Rajiv. (2013). Durability of Composites in Aircraft Engine Applications. Long-Term Durability of Polymeric Matrix Composites. 597-624. 10.1007/978-1-4419-9308-3_15.
19. Agatha, Yuan & Nirbito, Wahyu. (2020). Study of Tail Rudder Deflection Angles for Stabilizing the Twin Turboprop Small Passenger Aircraft in Critical Flight due to One Engine Failed Condition. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 926. 012022. 10.1088/1757-899X/926/1/012022.
20. Обоснование системы технического контроля при разработке и испытаниях объектов ракетной и космической техники. Федоровский А.А., Строгалев В.П., Владыкин Е.Н. Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 8. С. 63-74. [Justification of the technical control system during the development and testing of rocket and space technology objects. Fedorovsky A.A., Strogalev V.P., Vladykin E.N. Science and education: scientific publication of MSTU named after N.E. Bauman. 2015. No. 8. P. 63-74.]
21. Sarsam, Saad & Salih, Abeer & Tawfee, Sura. (2023). Assessing Durability of Roller Compacted Concrete. Journal of Engineering. 20. 1-14. 10.31026/j.eng.2014.07.01.
22. Klyatis, Lev. (2023). Implementation Successful Prediction of Product Efficiency, Accelerated: Reliability and Durability Testing, and Accurate Simulation. 10.1007/978-3-031-16655-6_6
23. Трансформация архитектурного формирования промышленных предприятий на современном этапе. Вершинин В.И. Архитектура, градостроительство и дизайн. 2020. № 2 (24). С. 36-46. [Transformation of the architectural formation of industrial enterprises at the present stage. Vershinin V.I. Architecture, urban planning and design. 2020. No. 2 (24). P. 36-46.]
24. Особенности развития архитектурно-планировочной организации инновационных центров. Бенаи Х.А., Кривенко Е.А. Вестник Донбасской национальной академии

строительства и архитектуры. 2014. № 2 (106). С. 13-18. [Features of the development of architectural and planning organization of innovation centers. Benai Kh.A., Krivenko E.A. Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2014. No. 2 (106). P. 13-18.]
25. Е.В. Сазыкина. Особенности архитектурно-планировочной организации производственных предприятий в условиях современного города // Архитектура и современнные информационные технологии, 2017, № 1 (38), с. 213-224. [E.V. Sazykina Features of architectural and planning organization of industrial enterprises in the conditions of a modern city // Architecture and modern information technologies, 2017, No. 1 (38), P. 213-224.]
26. Особенности влияния атмосферных факторов на авиационные органические стекла. Мекалина И.В., Айзатулина М.К., Сентюрин Е.Г., Попов А.А. Труды ВИАМ. 2018. № 11 (71). С. 28-34. [Features of the influence of atmospheric factors on aviation organic glass. Mekalina I.V., Aizatulina M.K., Sentyurin E.G., Popov A.A. Proceedings of VIAM. 2018. No. 11 (71). P. 28-34.]
27. Луценко А.Н. Испытательный центр ФГУП «ВИАМ»: Основные направления исследований и испытаний, перспективы развития /В сб. материалов конф. «ТестМат–2013». М.: ВИАМ. 2013 . [Lutsenko A.N. Testing center of FSUE “VIAM”: Main directions of research and testing, development prospects / Proceedings of the conference “TestMat-2013”. M.: VIAM. 2013.]
28. "McKinley Climatic Laboratory". Aviation: From Sand Dunes to Sonic Booms. US National Park Service. http://www.nps.gov/history/nr/travel/aviation/mck.htm. Retrieved 2009-01-06.
29. Introduction to atmospheric corrosion research in China. October 2007. Science and Technology of Advanced Materials 8(7):559-565. DOI: 10.1016/j.stam.2007.08.010

Информация об авторах

Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Сулейманова Елена Дмитриевна, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: elenasuleiman@rambler.ru
Ширеева Диляра Галеевна, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: shireevadilyara@gmail.com

Information about the authors

Alfred M. Suleymanov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
Email: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Elena D. Suleymanova, Senior Lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: elenasuleiman@rambler.ru
Dilyara G. Shireeva, Senior Lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: shireevadilyara@gmail.com

УДК: 72.035
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_188
EDN: JMJONI

Промышленные комплексы Ягодной слободы Казани: исторический архитектурно-градостроительный аспект развития до начала XX в.

Х.Г. Надырова[1], А.Т. Хайруллина[1], Д.А.Надырова[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи*. Революция в России обусловила процесс развития индустриальных зон городов. Одна из них известна в Казани как Ягодная слобода. Актуальность данного исследования вызвана не только малой изученностью, но и несоответствием существующих исторических промышленных зданий требованиям современных производств и, как следствие, их невостребованностью, запустением и необходимостью реконструкции. При этом исторические промышленные объекты являются архитектурно-градостроительным наследием, отражают этапы развития промышленности в Татарстане и России в целом. Недостаточная изученность промышленных комплексов не позволяет принимать адекватные решения по их сохранению и адаптации к современным требованиям. Предметом исследования являются этапы развития объемно-пространственной и планировочной структур рассматриваемой территории, комплексов и архитектуры зданий. *Методика* исследования включает в себя изучение архивных, библиографических материалов, картографический анализ и натурные обследования промышленных объектов. *Целью* работы является изучение исторических архитектурно-градостроительных аспектов развития промышленных территорий и объектов в Ягодной слободе Казани на примере комплекса Алафузовской фабрики**.** *Задачами исследования* являются: 1. Провести библиографические и архивные изыскания по теме исследования. 2. На основе выявленных архивных материалов проследить процесс формирования промышленных зон в слободах Казани на примере комплекса фабрики Алафузовых в Ягодной слободе и установить его особенности. 3. Сопоставить полученные результаты с особенностями развития аналогичных промзон в других регионах России.
Результат: Выполненная работа позволила выявить особенности объемно-пространственного и композиционного развития комплекса до начала XX века и его сопряженность с этапами развития промышленной архитектуры Татарстана и страны в целом.
Выводы исследования позволяют установить общие закономерности развития промышленных зон в исторических слободах Казани, как специфических архитектурно-градостроительных образований России второй половины XVIII-начала XX вв.

Ключевые слова: архитектура, промышленный комплекс, объемно-пространственная организация, развитие

Для цитирования: Надырова Х.Г., Хайруллина А.Т., Надырова Д.А. Промышленные комплексы Ягодной слободы Казани: исторический архитектурно-градостроительный аспект развития до начала XX в.// Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 188-204, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_188, EDN: JMJONI

Industrial complexes of the “Yagodnaya Sloboda” district of Kazan: historical architectural and urban planning aspect of development before the beginning of XX century

Kh.G. Nadyrova [1], A.T. Khairullina[1], D.A. Nadyrova[3]
[1]Kazan State University of Architecture and Civil Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. The revolution in Russia caused the process of development of industrial zones of cities. One of them is known in Kazan as Yagodnaya Sloboda. The relevance of this study is caused not only by the low level of study, but also by the inconsistency of existing historical industrial buildings with the requirements of modern industries and, as a result, their lack of demand, desolation and the need for reconstruction. At the same time, historical industrial sites are architectural and urban heritage and reflect the stages of industrial development in Tatarstan and Russia as a whole. Insufficient knowledge of industrial complexes does not allow making adequate decisions on their preservation and adaptation to modern requirements. The subject of the study is the stages of development of the spatial and planning structures of the territory under consideration, complexes and architecture of buildings. The research methodology includes the study of archival, bibliographic materials, cartographic analysis and field surveys of industrial facilities
The purpose of the work is to study the historical architectural and urban planning aspects of the development of industrial territories and facilities in the “Yagodnaya Sloboda” district of Kazan on the example of the Alafuzovs factory complex.
The objectives of the study are: 1. Conduct bibliographic and archival research on the subject of the study. 2. Based on the identified archival materials, trace the process of formation of industrial zones in the suburbs of Kazan on the example of the Alafuzovs factory complex in “Yagodnaya Sloboda” district and establish its features. 3. Compare the results obtained with the peculiarities of the development of similar industrial zones in other regions of Russia. *Results:* The work carried out made it possible to identify the features of the spatial and compositional development of the complex before the beginning of the XX century and its connection with the stages of development of industrial architecture of Tatarstan and the country as a whole.
The conclusions of the study allow us to establish general patterns of development of industrial zones in the historical settlements of Kazan, as specific architectural and urban-planning formations of Russia in the second half of XVIII - early XX centuries.

Keywords: architecture, industrial complex, spatial organization, development

For citation: Nadyrova H.G., Khairullina A.T., Nadyrova D.A. Industrial complexes of the “Yagodnaya Sloboda” district of Kazan: historical architectural and Town-planning aspect of development up to the beginning of the twentieth century // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 188-204, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_188, EDN: JMJONI

1. Введение

Промышленные зоны в городах России, как правило, располагались в пригородных слободах. Одна из них известна в Казани как Ягодная слобода. Она располагалась на правом берегу р. Казанки, недалеко от впадения ее в Волгу. В настоящее время это часть Кировского района города Казань. Наследие промышленной архитектуры является важным и сложным объектом историко-архитектурных и историко-градостроительных исследований. *Актуальность* данного исследования вызвана несоответствием существующих исторических промышленных зданий и комплексов требованиям современных производств и, как следствие, их невостребованностью в настоящее время, запустением и необходимостью их реконструкции и ревалоризации. При этом исторические промышленные объекты представляют ценность как архитектурно-

градостроительное наследие, отражающее этапы развития промышленности, промышленных территорий и архитектуры в Татарстане и России в целом. Видоизменения объектов промышленной архитектуры в процессе приспособления их к современным функциям, многочисленные утраты объектов, как малоценного наследия, обуславливают необходимость их изучения, фиксации в документах и научно обоснованных реконструкций в дальнейшем.

История промышленного здания как основной типологической единицы промышленной архитектуры рассматривается в исследованиях в аспекте общемировой практики строительства на протяжении трехсот лет существования архитектуры промышленного производства [1]. Уровень исследований архитектурной типологии исторических производственных зданий различных регионов позволяет проследить их особенности в контексте мировых тенденций развития [2].

Принципы сохранения, обновления и устойчивого развития исторических городских промышленных территорий, возрождения производства и их благоустройства интересует ряд современных авторов. Речь может идти об историко-культурных предпосылках и этапах формирования различных исторических промышленных территорий городов, которые ныне требуют нового взгляда на приспособление и ревитализацию [3, 4].

Другие исследователи рассматривают современную реновацию промышленных территорий, не затрагивая исторические аспекты их развития, предлагают новые концепции развития без их учета [5, 6]. При этом в некоторых статьях подчеркиваются перспективы развития именно общественных пространств с объектами индустриального наследия [7, 8]. Кроме того, авторы отмечают необходимость устойчивого развития исторически сложившихся промышленных территорий на базе экологического обоснования, то есть с учетом комплекса мер для уменьшения вреда здоровью населения с минимизацией рисков ущерба окружающей среде [9, 10].

Идет поиск подходов к изучению особенностей исторического и культурного развития промышленной архитектуры [11], выводятся принципы по регенерации индустриальной архитектуры [12].

В зарубежных публикациях интерес к промышленному наследию прослеживается не только по локальным объектам, но и общегосударственном уровне, как в Великобритании и Китае [13,14].

Исследования регионов позволяют провести классификацию основных типов промышленных зданий XIX - начала XX вв., установить степень их сохранности и предложить пути их реновации [15]. Интерес представляют и научно-практические исследования по выявлению критериев оценки проектов адаптивного и повторного использования объектов промышленного наследия, выполненные на основе их историко-документального изучения и объективного обследования в натуре [16]. Изучение промышленных комплексов XIX - начала XX вв. проводилось и в других регионах России [17, 18, 19].

Библиографический анализ выявил новый аспект в исследованиях промышленного наследия. Промышленная архитектура изучается не только, как историко-архитектурная ценность промышленного наследия, но и как процесс превращения её в это наследие, и выявляется значение этого процесса в распространении культуры человека и демонстрации научно-технического прогресса [20].

Ранее публиковались статьи, посвященные развитию промышленных усадеб в других слободах Казани [21]. Был исследовано современное состояние и этапы развития льнопрядильной фабрики Алафузова [22]. Историческое исследование Алафузовской династии в аспекте изучения промышленного развития Ягодной слободы также представляет определенный интерес [23]. Предпринята попытка в исследовании эволюции научных исследований промышленной архитектуры отдельных регионов России. Определены два перспективных направления дальнейшего изучения истории промышленного зодчества Урала, дополняющие друг друга. В рамках первого направления развиваются фундаментальные подходы к исследованию и обобщению исторического материала о промышленном зодчестве, а в рамках второго -

разрабатываются прикладные методы изучения, документирования, оценки и популяризации памятников индустриального наследия региона [24].

Библиографический анализ показал, что комплексные исследования развития промышленных территорий Ягодной слободы на примере владений Алафузовых не проводились.

Целью работы является изучение историко-архитектурных и историко-градостроительных аспектов развития промышленных территорий и объектов в Ягодной слободе г.Казани на примере промышленных комплексов фабрики Алафузова. Цель определяет *задачи исследования*: 1. Провести библиографические и архивные изыскания по теме исследования. 2. На основе выявленных архивных материалов проследить процесс формирования промышленных зон в слободах Казани на примере комплекса фабрики Алафузовых в Ягодной слободе и установить его особенности. 3. Сопоставить полученные результаты с особенностями развития аналогичных промзон в других регионах России.

Объект исследования – комплекс Алафузовской фабрики в бывшей Ягодной слободе Казани. Предметом исследования является процесс развития промышленных комплексов на территории Ягодной слободы, архитектуры объектов промышленного и социального назначения до конца 1910-х годов.

2. Материалы и методы

Материалами исследования послужили библиографические источники по теме исследования, текстовые и графические документы Государственного архива Республики Татарстан, Отдела редких книг и рукописей Научной библиотеки Поволжского Федерального университета, а также материалы натурных обследований промышленных территорий, комплексов и зданий бывшей Ягодной слободы, а ныне части Кировского района Казани (фотоснимки, видеосъемки, схемы, кроки и обмеры).

Методика исследования включает в себя картографический анализ, сравнительный анализ, натурные обследования промышленных территорий бывшей Ягодной слободы. Особое значение в исследовании имеют архивные документы по фабрике Алафузова, позволяющие восстановить этапы развития комплекса на протяжении более века.

3. Результаты и обсуждение

На месте Ягодной слободы существовала татарская деревня Ягодная, которая с середины XVI в. стала русским селением Ягодная поляна. Оно располагалось на правом берегу р. Казанки в месте, где река делает большую петлю с севера на юг. На противоположной стороне, в излучине Казанки, на высоком холме находился Зилантов монастырь, вокруг которого по берегам Казанки к концу XVIII в. сгруппировались д. Игумнова, село Бишбалта на месте урочища Бежболда, Адмиралтейство и Адмиралтейская слобода. Благоприятные условия для развития с. Ягодного обеспечивали тракт из Уржума в Казань (б. Галицкая дорога, известная со времен Казанского ханства), проходивший по северо-восточной окраине селения, и река Казанка, которая впадала в Волгу. От этого тракта через с. Ягодное ответвлялись большие дороги на Москву и Царевококшайск. После указа Петра I в Казани в 1718 г. на левом берегу Казанки, на землях селения Бежболда было основано Адмиралтейство. В Ягодной слободе стали селиться плотники и кузнецы, занятые на строительстве кораблей в Адмиралтейской слободе [25].

Территория села Ягодного увеличилась. Еще в XVII в. жители села возродили производство качественных кож, издавна выделывавшихся в Казанском ханстве. Одной из самых известных династий кожевенных мастеров были Котеловы. Именно они основали кожевенное производство на рассматриваемой территории в последней трети XVIII века.

К началу 1780-х гг. село преобразовалось в Ягодную слободу. Главной улицей Ягодной слободы стала ул. Архангельская (ныне ул. Гладилова) со Смоленско-Дмитриевской церковью (1779 г.), приходской школой и торговыми объектами. Улица была застроена жилыми полукаменными и деревянными домами. Выделка кож и другие

виды ремесел развивались в структуре усадеб, в которых помимо хозяйственных построек возводились и производственные корпуса.

В начале 1820-х гг. в Ягодной слободе располагались три кожевенных «завода-мануфактуры» братьев Котеловых. Один из них принадлежал П.И. Котелову и располагался на рассматриваемой территории, где в последней трети XIX – начале XX вв. сформировался Алафузовский комплекс. На заводах применялся исключительно ручной труд рабочих, которые пользовались простым инвентарем. Архитектурно-планировочная структура слободы представляла собой нерегулярную застройку разновеликими усадьбами по обеим сторонам ул.Архангельской, тянувшейся с Ю-В на С-З.

С 1825 года Ягодная слобода официально вошла в городскую черту Казани. До разработки новых или корректировки прежних планов города выполнялись так называемые съемочные планы натурального положения. Съемку, как правило, проводили губернские землемеры. В 1834 г. был выполнен съемочный план Ягодной, Адмиралтейской, Игумновой, Кизической и Козьей слобод губернским землемером П.Н. Селезневым. На основе этого съемочного плана, предположительно, губернским архитектором Ф.И. Петонди был разработан регулярный план, утвержденный только в 1839 г.[1] (рис.1). После пожара 1842 г. он уточнялся несколько лет.

На регулярном плане слободы видно, что улица Архангельская сохранила свое ломаное начертание. Очевидно, это было связано с затруднительным перемещением Смоленско-Дмитриевской церкви и кирпичных строений заводов в этой части слободы. И все оставили, как было. Композиционным центром Ягодной слободы на протяжении XIX в. служила Смоленско-Дмитриевская церковь в стиле барокко, располагавшаяся на небольшой площади по правой стороне Архангельской улицы. В 1806 г. вблизи церкви было построено одноэтажное кирпичное здание начального училища для слободских детей. Застройка слободы формировалась в основном небольшими усадьбами с одноэтажными деревянными домами в традициях народной архитектуры. Однако с начала XIX века и ранее в объемно-планировочной структуре с.Ягодного выделялись крупные участки домовладений разбогатевших экономических крестьян, занимавшихся кожевенным или ткацким производством и перешедших в разряд купцов.

Рис. 1. Планы Ягодной слободы 1-й половины XIX в.: слева – нерегулярный план Ягодной слободы 1-й трети XIX в. (План губернского города Казани с окрестностями, 1850 г.); справа – регулярный план Ягодной слободы (План города Казани, конфирмованный в 1842, 1845, 1848): 1-1. Улица Архангельская, 2. Смоленско-Дмитриевская церковь, 3. Начальное училище, 4. Место усадьбы П. Свешникова, 5. Место усадьбы П.И. Котелова с кожевенным «заводом», 6. Зилантов монастырь, 7. Памятник павшим воинам, 8. Адмиралтейская слобода

Fig. 1. The plans of the Berry settlement of the 1st half of the nineteenth century: on the left - the irregular plan of the Berry settlement of the 1st third of the nineteenth century (the plan of the provincial city of Kazan with its surroundings, 1850); on the right – the regular plan of the Berry settlement (the plan of the city of Kazan, confirmed in 1842, 1845, 1848): 1-1. Arkhangelsk street, 2. Smolensko-Dmitrievskaya church, 3. Primary school, 4. The place of the estate of P. Sveshnikov, 5. The place of the estate of P.I. Kotelov with a tannery "factory", 6. Zilant monastery, 7. Monument to fallen soldiers, 8. Admiralty settlement

[1] ГА РТ. Ф.409, Оп.1, Д.3, л. 5; РГИА. Ф.1293, Оп.166, Д. 6 – по материалам Нугмановой Г.Г.

В начале 1830-х годов возле храма на правой стороне Архангельской улицы архитектором А.К. Шмидтом возводится дом в стиле позднего классицизма для купца П.А. Свешникова, владельца меднолитейного завода в соседней Адмиралтейской слободе. Усадьба занимала большую территорию, на которой помимо жилых и хозяйственных построек находились и производственные здания, и сад.

В это же время, в 1833 году, к северо-западу от особняка П.А. Свешникова, на левой стороне Архангельской улицы по проекту архитектора П.Г. Пятницкого возводится дом купца-кожевенника П.И. Котелова. В первой половине XIX века на заводах Котеловых трудились 256 человек [23]. Первое реальное представление о состоянии и перспективах развития территории домовладения купца П.И. Котелова можно видеть на проекте реконструкции известного казанского архитектора П.Г. Пятницкого (рис. 2).

Особенность данного комплекса заключалась в том, что хозяйская жилая часть усадьбы занимала территорию, указанную на рис. 2 пунктирными линиями. В её центре находился построенный ранее одноэтажный каменный дом владельцев усадьбы Котеловых, к северу от которого располагался старый деревянный хозяйский дом и был разбит большой сад. По периметру хозяйской части усадьбы располагались жилые флигели, конюшни, сараи и другие хозпостройки. С трех сторон вокруг этой хозяйской жилой части сформировалась производственная зона с преимущественно деревянными постройками для переработки кож (основное заводское здание, красильня, сушильня, кузница и т.д.). По проекту П.Г. Пятницкого предполагалось надстроить каменный дом деревянным вторым этажом и мезонином, заменить обветшавшие деревянные производственные и хозяйственные постройки новыми, некоторые из которых должны были быть кирпичными. На ул. Архангельскую со двора вели ворота, располагавшиеся напротив нового дома Котеловых. Помимо этих парадных ворот на территорию комплекса вели хозяйственные ворота с севера и юга.

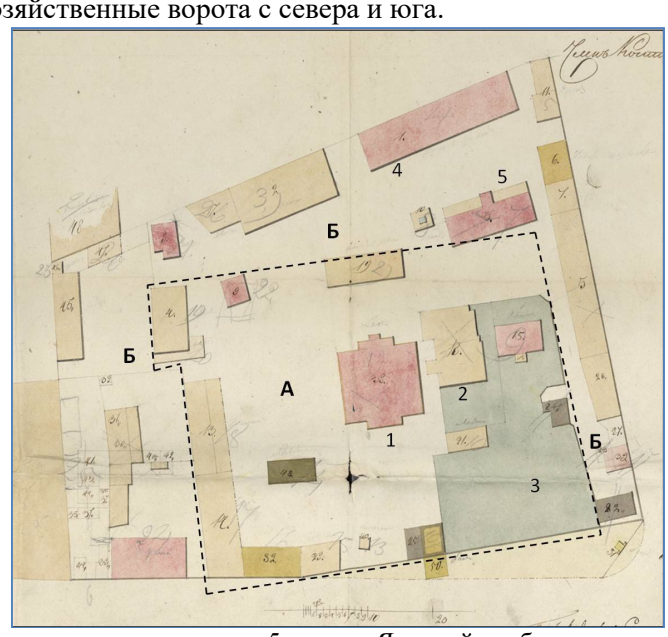


Рис. 2. «План месту, состоящему в 5 части в Ягодной слободе ... купца Котелова»[2]
А – хозяйская жилая часть усадьбы:
1 – новый жилой дом, 2 – старый деревянный дом, 3 – сад; Б – производственная зона усадьбы:
4 – «кожевенный завод», 5 – красильня (Источник: ОРРК Научной библиотеки имени Лобачевского ПФУ. Инв. книга 17N2 8960)

Fig. 2. «A plan for a place consisting of 5 parts in the Berry settlement... merchant Kotelov»
A – the owner's residential part of the estate: 1 – a new residential building,
2 – a former wooden house, 3 – a garden; B – the production area of the estate:
4 – «tannery», 5 – dye house (Source: ORRK Scientific Library named after Lobachevsky PFU. Inv. book 17N2 8960)

[2] План месту, состоящему в 5 части в Ягодной слободе ... купца Котелова // ОРРК Научной библиотеки имени Лобачевского ПФУ. Инв. книга 17N2 8960.

В целом, в 1-й половине XIX века усадьба Котеловых являлась образцом производственно-жилого комплекса со свободно расположенными в пространстве одно-двухэтажными кирпичными, деревянными и кирпично-деревянными постройками различного назначения в стиле классицизм. Дом Котеловых был построен в 1838 г. и стал доминантой комплекса. По традиции он сохранил расположение в глубине усадьбы. В отличие от усадьбы Котеловых, дом купца П.А. Свешникова, построенный в начале 1830-х гг. по проекту архитектора А.К. Шмидта, был поставлен на красную линию ул. Архангельской на углу усадьбы. С течением времени семейное предприятие Котеловых в конце 1850-х годов становился неэффективным. В 1859 г. его приобрело «Товарищество Казанского кожевенного завода», которое состояло из 44 пайщиков, среди которых были И.И. Алафузов и С.Е. Александров. Распорядителем завода пригласили сына бывшего владельца и одного из пайщиков П.П. Котелова. После продажи усадьбы семья Котеловых покидает её. Семейно-производственный комплекс преобразуется в промышленный. В бывшем хозяйском жилом доме размещается заводская контора. Этот акт проявил новые формы развития промышленности, сложившиеся к началу проведения государственных реформ в Российской империи в 1860-х-1870-х годов. Архивные документы, сохранившиеся в ГА РТ, свидетельствуют на примере развития комплекса Алафузовых, что с начала 1860-х годов начался новый этап в развитии - капиталистический. В период функционирования «Товарищества Казанского кожевенного завода» за четыре неполных года на бывшей усадьбе Котеловых предполагалось:

1. В 1860 г. построить несколько производственных корпусов[3], расширить и надстроить существующие здания.[4]
2. Увеличить территорию комплекса в южную сторону с возведением новых заводских строений[5];
3. В 1862 г. построить несколько производственных корпусов, расширить и надстроить существующие здания. Расширить территорию товарищества за счет приобретения участка, расположенного через проезжую часть ул.Архангельской, на котором к этому времени уже размещались деревянные постройки. На этой новой территории завода на углу участка предполагалось выстроить каменный двухэтажный дом в 9 оконных осей по узкому фасаду.[6]

В 1861 г. был разработан проект здания ткацкой фабрики для основного отделения Товарищества. Прямоугольное в плане, краснокирпичное, двусветное здание с высокими арочными нишами. В простенках между ними по оси размещены большие пилястры, фланкированные более низкими по высоте пилястрами, которые «несли» архивольты. В плоскостях ниш были размешены 4 окна (в два уровня по два окна в каждом). Это, по сути, единственное производственное здание, для оформления фасадов которого в полной мере были применены принципы и элементы классицистической архитектуры. Запланированный в 1862 г, в 1865 г. вступил в строй корпус льноткацкой фабрики, обозначившей с это времени основное направление развития производственного комплекса при сохранении прежнего - кожевенного.

В 1866 году кожевенный завод был выкуплен у «Товарищества Казанского кожевенного завода» И.И. Алафузовым совместно с тестем С.Е. Александровым. С

[3] Планы заводских строений предполагаемых к постройке на Казанском кожевенном заводе, принадлежащем товариществу Казанского Кожевенного завода в Ягодной слободе в 5-ой части // ГА РТ, ФОНД 408, ОПИСЬ 4, ДЕЛО 81.

[4] Фасад и разрез главного корпуса заводского строения предполагаемого к постройке на Казанском кожевенном заводе, принадлежащем товариществу Казанского Кожевенного завода в г. Казани в Ягодной слободе // ГА РТ ФОНД 408 ОПИСЬ 4 ДЕЛО 84.

[5] Фасады и разрезы заводских строений предполагаемых к постройке на Казанском Кожевенном заводе, принадлежащем, товариществу Казанского Кожевенного завода и находящемся в г.Казани в Ягодной слободе в 5-ой части в квартале деревянных строений // ГА РТ, Ф. 408, Оп. 4, Д. 85.

[6] Планы фасады и разрезы на постройку каменного 2-х этажного дома и на пристройку к существующим каменным строениям каменных: двухэтажных и двухэтажной с сушилом пристроек товариществу Казанского Кожевенного завода в 5-ой части в Ягодной слободе // ГА РТ, Ф. 408, Оп. 4, Д. 82.

именем И.И. Алафузова связывается процесс широкой механизации производства в Казанской губернии в 70-е годы XIX века. С приобретением комплекса в 1867 г. в его южной части для дальнейшего развития строится здание газового «завода» с кирпичной трубой – второй высотной доминантой комплекса.

Помимо широкой механизации И.И. Алафузов и его компаньон начинают формировать социальную инфраструктуре промышленного комплекса. В 1870 году, наряду с несколькими проектами зданий по расширению завода[7], был впервые разработан проект на постройку в юго-восточном углу участка Г-образного в плане, трехэтажного кирпичного здания для размещения в нем училища для малолетних детей рабочих, жилых и других помещений для рабочих[8]. В этом здании помимо училища размещались столовая, ясли, помещения для проживания рабочих (казармы) и т.д. Нижний этаж здания занимала контора и другие помещения, на втором – было училище, а на третьем находились квартиры некоторых семейных служащих и рабочих. Это был пример первого многофункционального здания в Льноткацко-кожевенном комплексе Алафузовых и Ягодной слободе. Оно представляло собой угловое здание с разновеликими в плане крыльями по красной линии улицы Архангельская и поперечного переулка к р.Казанке. Из-за конфигурации участка крылья здания развернуты по отношению друг к другу под тупым углом в 100 градусов. Поперечными несущими стенами здание было разделено на 4 части. Между спаренными частями размещены две лестницы в лестничных клетках. Вдоль продольных стен по внутренней оси были расставлены колонны, между которыми проходила одна из деревянных стен внутреннего коридора, соединявшего узкие прямоугольные помещения 2-го этажа, также разделенные деревянными стенами. Перекрытия были деревянные по балкам. Двухскатная стропильная крыша была покрыта металлическими листами (рис.3).

В 1876 году Алафузов выстроил для рабочих лечебницу - двухэтажное здание на углу ул. Архангельская и ул.Смоленская. При фабрике имелись школа, аптека и столовая.

Рис. 3. Общий вид корпуса и проект на постройку каменного трехэтажного корпуса для фабричных рабочих и помещения в нем училища для их малолетних детей при льно-прядильной механической ткацкой мануфактуре С. Е. Александрова и И. И. Алафузова[9]
(фото корпуса с сайта https://photobuildings.com/photo/01/01/27/101278.jpg)

Fig. 3. General view of the building and the project for the construction of a stone three-storey building for factory workers and the premises of a school for their young children at the flax spinning mechanical weaving manufactory of S. E. Alexandrov and I. I. Alafuzov (photo of the building from the website https://photobuildings.com/photo/01/01/27/101278.jpg

[7] Проект на постройку дубильной с сушильной для кож и строения для сушки корья при кожевенном заводе и льно-прядильной механической ткацкой мануфактуре С. Е. Александрова и И. И. Алафузова // ГА РТ, Ф. 2, Оп. 15, Д. 621.

[8] Проект на постройку каменного трехэтажного корпуса для фабричных рабочих и помещения в нем училища для их малолетних детей при льно-прядильной механической ткацкой мануфактуре С. Е. Александрова и И.И. Алафузова // ГА РТ, Ф. 2, Оп. 15, Д. 637.

[9] Проект на постройку каменного трехэтажного корпуса для фабричных рабочих и помещения в нем училища для их малолетних детей при льно-прядильной механической ткацкой мануфактуре С. Е. Александрова и И. И. Алафузова // ГА РТ, Ф. 2, ОП. 15, Д. 637. 1870 г.

К 1889 году практически вся территория комплекса была застроена по периметру преимущественно кирпичными зданиями, полностью был утрачен сад.

В комплексе появилась третья доминанта в виде кирпичной трубы. Архивный документ этого времени дает представление о застройке, располагавшейся на территории: деревянная на каменном этаже контора, каменные фабричные строения, деревянные фабричные строения, каменный склад, каменные жилые строения. За территорией завода на берегу реки были выстроены деревянные небольшие строения, предположительно, паровая водокачка, шерстомойка и колодец, от здания красильной был проложен водяной канал к реке Казанка. Проектом предполагалось строительство трехэтажного кирпичного здания для размещения в нем прядильного корпуса на территории завода[10]. Однако бизнес Алафузовых не ограничивался только промышленным комплексом на территории бывшей усадьбы И.П. Котелова, который стал называться Главным двором. С конца 1860-х гг. они скупают усадьбы в кварталах Ягодной слободы для расширения производств. В разных частях слободы на улицах Архангельская, Царевококшайская и других появляются так называемые отделения, в которых продолжает развиваться кожевенное производство (отделения 2 и 3). Все отделения представляли собой крупные многофункциональные комплексы с преобладающей производственной функцией. В плане они имели различную кофигурацию, сложившуюся путем прирезки соседних домовладений. На огороженных территориях в соответствии с производственной необходимостью свободно располагались кирпичные и деревянные одно-двух, реже трехэтажные корпуса, в которых располагались производство, складские, административные и жилые помещения. Третье отделение сформировалось на основе бывшей производственно-жилой усадьбы П.А. Свешникова. Эти промышленные отделения в Ягодной слободе имели важное значение для города, и показаны на планах Казани 1879, 1884 и 1887 годов (рис. 4).

В начале 1890-х гг., после смерти И.И. Алафузова, дело возглавили его вдова и брат. В 1893 г. было образовано акционерное «Торгово-промышленное общество Алафузовских фабрик и заводов» (АФУЗО). С этого времени продолжается развитие льнопрядильного производства путем строительства энерготехнических сооружений.

В 1892 г. построены резервуары для нефтяных остатков,[11] в 1895 г. – здание прядильного корпуса в три этажа, четвертая и пятая доминанты (кирпичная труба у северной границы участка и кирпичная труба с небольшим кирпичным строением возле вновь выстроенного прядильного корпуса). В 1898 г. разработан проект, а в 1899 г. было осуществлено строительство кирпичного здания электростанции.[12]

Архитектура промышленных зданий конца XIX – начала XX вв. представляла собой прямоугольные в плане одно-двухэтажные краснокирпичные постройки с конструктивной системой из продольных несущих стен.

На высоту второго-третьего этажа через два оконных проема выступали кирпичные простенки, пространство между которыми были забраны горизонтальными деревянными решетками из досок, набитых на направляющие под небольшим углом с тем, чтобы между ними оставались узкие полосы просветов. Здания завершались двускатными стропильными крышами с тесовым покрытием. Помещения второго и третьего этажей в этом случае использовались как сушила. Кирпичные простенки сушил также, как и все здание, имели небольшие карнизы. Перекрытия между первым и вторым этажами в таких зданиях выполнялись сводчатыми, а между вторым и третьим делались

[10] Проект для прядильного корпуса фабрики Алафузова И. И. в 6- ой части в Ягодной слободе, по улице Большой // ГА РТ, Ф. 2, Оп. 15, Д. 640.

[11] Проект на постройку двух железный резервуаров, каждый вместимостью по 100 000 пудов для нефтяных остатков на берегу р. Казанки при фабрично-заводском производстве наследников Статского Советника И. И. Алафузова в 6-ой части г. Казани в Ягодной слободе по улице Большой в квартале №8 // ГА РТ, Ф. 2, Оп. 15, Д. 624., 1892 г.

[12] Проект на постройку каменного здания для электрической станции при Алафузовском заводе в Ягодной слободе // ГА РТ, Ф. 2, Оп. 15, Д. 610.

плоскими по балкам. На первых этажах зданий фабрик размещались станки и оборудование кожевенного или ткацкого производств, а на втором – административные и производственные помещения, на которые разделялось пространство этажей зданий внутренними кирпичными стенами. Помещения отапливались печами, трубы которых выводились на крышу. Освещались помещения окнами с лучковым завершением и выступающими над плоскостью стены наличниками из фигурного кирпича.

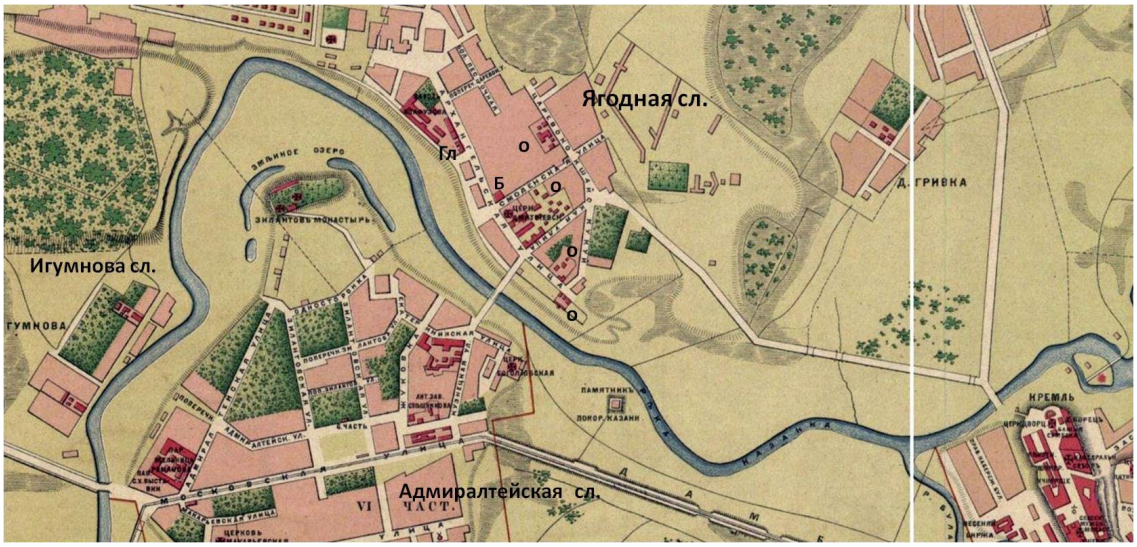


Рис. 4. Промышленные отделения И.И. Алафузова на плане Ягодной слободы 1887 г. (фрагмент плана Казани 1887 г. / http://tat-map.ru/Kazan/do1917/ilin1887.jpg):
Гл. – Главный двор, О – промышленные отделения, Б – лечебница)
Fig. 4. Industrial departments of I.I. Alafuzov on the plan of Yagodnaya Sloboda in 1887 (fragment of the plan of Kazan in 1887 / http://tat-map.ru/Kazan/do1917/ilin1887.jpg): Гл. – Main yard, O – industrial departments, Б – hospital)

В последней четверти XIX – начале XX вв. оконные проемы увеличились в размерах, имели прямое или лучковое завершение и часто не имели наличников. Для промзданий была характерна зально-ячеистая планировочная структура, которая видна на всех представленных архивных документах.

Исследователями установлено, что продолжилось применение ячейково-зальной структуры. Вместе с тем, изменение коснулось конструктивной основы. Сначала вместо деревянных колонн и балок стали применяться чугунные, потом кирпичные сводчатые перекрытия по металлическим балкам. Такая система применялась до конца XIX века. Плоские крыши в зданиях текстильной промышленности России стали применяться в начале XX в., что в сравнении с Европой и США было позже почти на четверть века.С конца XIX века в строительстве текстильных фабрик начал применяться железобетон, появляется каркасная конструктивная система [2]. Поскольку в Европе основными законодателями промышленной архитектуры была Великобритания, а в Америке – США, то стилистика их зданий распространилась по всему миру. Однако в некоторых странах национальные особенности проявлялись и в промышленной архитектуре. Например, так произошло в Каталонии [26]. Определенные отличия наблюдались и в стилистике промзданий Братиславы и венгерских районов Австро-Венгрии [27]. Но все же в развитии промышленной архитектуры преобладали общие тенденции, которые в формировании объектов текстильной промышленности прослеживались и в арабском мире [28].

В России, если первоначальное отставание в разработке конструкций промзданий и ориентация на европейскую и американскую архитектуру наблюдались во второй половине XIX в., то на рубеже веков это отставание в России было преодолено. В стилистике промзданий Казани, как и других регионах России, проявлялась общероссийская тенденция использования элементов классицистической архитектуры, которая постепенно исчезали с распространение конструктивизма.

Помимо развития промышленной архитектуры, в Ягодной слободе продолжалось строительство социальных объектов.

На рубеже XIX-XX веков по проекту архитектора Л.К. Хрщоновича было построено многофункциональное здание, которое население по наличию зрительного зала и сцены называло Алафузовским театром. С 1909 года здание стало называться Образовательным домом им. Александра II. Здесь располагались бесплатная школа для детей рабочих, аптека, приемный покой для работников фабрики, столовая, библиотека, клуб рабочих для представлений, танцевальных вечеров, чтения лекций и т.д., демонстрировались фильмы, была потребительская лавка, где рабочие и служащие могли купить товары в кредит, все образовательные учреждения, созданные при Алафузовских фабриках (фабрично-заводская школа), Собрание служащих переместились из прежних помещений в это здание [29]. Мероприятия Собрания служащих также были закрытыми. На них не допускались рабочие. Во время мероприятий проводились маскарады, танцевальные, музыкальные, и литературные вечера, театральные постановки.

Алафузовский театр был построен на западной стороне Архангельской улицы рядом с Главным двором (Алафузовского льнопрядильного комплекса) и выходил главным фасадом на улицу, а дворовым фасадом на р.Казанку. Здание Алафузовского театра, двухэтажное, на высоком цокольном этаже, Т-образное в плане с высокими арочными окнами, с фасадами в стиле эклектики классицистического направления с элементами архитектуры Ренессанса имело дворцовый облик. Силуэтную выразительность зданию придавали выступавшие по углам здания башенки с купольными завершениями. Украшением интерьеров здания служили зрительный зал на 900 мест с балконами на втором ярусе и сценическое помещение.

К началу 10-х гг. XX века территория основного фабричного комплекса увеличилась, добавился небольшой участок с садом и деревянными строениями, новые крупные кирпичные сооружения не появились. Были выстроены лишь некоторые кирпичные пристрои и деревянные отдельно стоящие здания. Так же появился четвертый резервуар для нефти на берегу реки Казанка и небольшая шестая доминта – труба у первоначального здания училища, которое к этому времени уже использовалось в качестве многофункционального здания. Здесь размещалась торговая контора, пекарня, кухня и казармы для рабочих. Многие общественные функции из этого здания были переведены в Алафузовский образовательный дом.

Анализ архивно-библиографических материалов и результатов натурных обследований территории бывшей Ягодной слободы позволили составить историко–опорный план главного фабрично-заводского двора, отражающий основные этапы его разития (рис. 5)

Помимо Александровского образовательного дома в Ягодной слободе продолжали строиться социально значимые медицинские учреждения. Так в Ягодной слободе действовала больница на 20 кроватей при Алафузовской фабрике. Кроме того, «Торгово-промышленным обществом Алафузовских фабрик и заводов» в 1905 г. была устроена амбулатория в специально построенном для того здании на Архангельской улице, напротив третьего отделения комплекса для приходящих больных служащих и рабочих. До этого прием приходящих больных производился при фабрично-заводской больнице. Для больницы и амбулатории были приглашены постоянные врач и акушерка. Лечение больных и лекарства предоставлялись бесплатно, как в больнице, так и в амбулатории. Для заведывания больничной аптекой и для приготовления лекарств был нанят фармацевт [30].

К концу 1910-х годов «Торгово-промышленное общество Алафузовских фабрик и заводов» имело восемь отделений, которые формировали обширный промышленно-пространственный комплекс в Ягодной слободе. Композиционной осью этого комплекса служила улица Архангельская, на которой возвышались два центра – две доминанты Ягодной слободы: Смоленско-Дмитриевская церковь (1789 г., барокко) и Александровский образовательный дом (Алафузовский театр, 1900, эклектика классицистического направления, неоренессанс). На фоне краснокирпичных двух-трехэтажных зданий, формировавших в пространстве кварталов фабрично-заводские

комплексы, и малоэтажной жилой застройки эти два здания олицетворяли культовый и культурный центры Ягодной слободы.

Рис.5. Историко-архитектурный опорный план Главного комплекса Алафузовских фабрик
Fig.5. Historical and architectural reference plan of the Main complex of Alafuzov factories
дореволюционные постройки / pre-revolutionary buildings, здания советского периода / buildings of the Soviet period, здания периода 1966-2008 гг. / buildings of the period 1966-2008 гг, здания периода 2003-2023 гг. / buildings of the period 2003-2023 гг., дореволюционные здания, реконструированные в период 1917 -1966 гг./ pre-revolutionary buildings reconstructed in the period 1917 -1966 гг., дореволюционные здания, реконструированные в период 1966-2023 гг. / pre-revolutionary buildings reconstructed in the period 1966-2023 гг., сохранившаяся доминанта дореволюционного периода / the preserved dominant of the pre-revolutionary period, утраченная доминанта дореволюционного периода / the lost dominant of the pre-revolutionary period, утраченные дореволюционные резервуары для нефти / the lost pre-revolutionary oil tanks

В начале XX века вся промышленная «империя» Алафузовых была зафиксирована документально на специальном плане, где в масштабе были представлены все отделения[13] (рис. 6).

[13] Общий план всех строений Торгово-промышленного общества Алафузовских фабрик и заводов в г.Казани, начало XX века // Архив ОАО АПК «Казанский лен».

Композиционная структура комплекса от свободно-упорядоченной с одно-двухэтажными зданиями видоизменяется на связно-периметральную с трехэтажными краснокирпичными корпусами, смыкающимися по периметру участка.

Рис. 6. Алафузовский промышленно-пространственный комплекс в Ягодной слободе Казани в начале XX в.: схема размещения всех отделений Алафузовского комплекса в планировочной структуре Ягодной слободы (Схема авторов: 1-8 – отделения, 5 -Алафузовский театр, 9 – Смоленско-Дмитриевская церковь)

Fig. 6. Alafuzovsky industrial and spatial complex in Yagodnaya Sloboda of Kazan at the beginning of the twentieth century: layout of all departments of the Alafuzovsky complex in the planning structure of Yagodnaya Sloboda (Scheme of the authors: 1-8 – departments, 5 -Alafuzovsky theater, 9 – Smolensko-Dmitrievskaya church)

В отличие от первоначального вида с реки, к началу XX в. со строительством энерго-технических зданий (газовой станции, электростанции, нефтехранилищ) с дымоходными трубами формируется речная панорама главного комплекса, придававшая индустриальный вид Ягодной слободе и ставшаяя её визитной карточкой (рис.7).

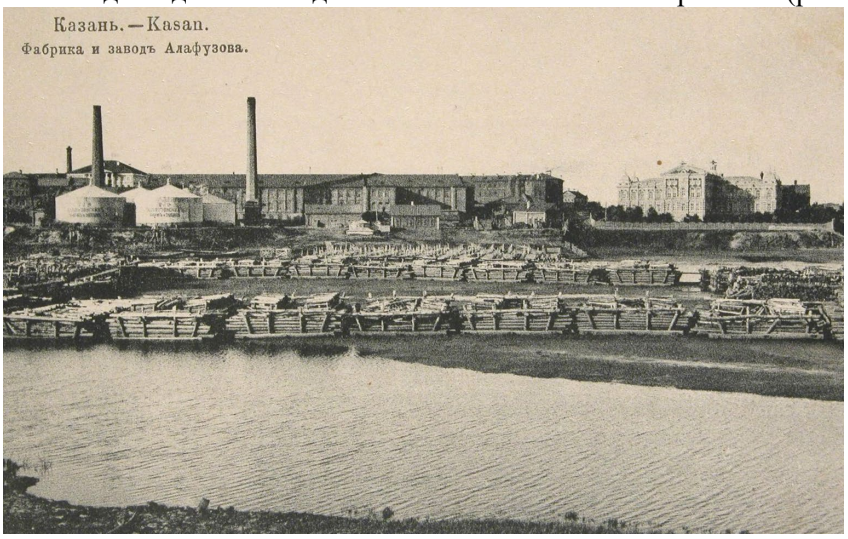


Рис.7. Панорама Ягодной слободы с противоположного берега реки Казанка.[14]

Fig.7. Panorama of Yagodnaya Sloboda from the opposite bank of the Kazanka river

[14] Фото панорамы Ягодной слободы начала XX в. из открытых источников ((https://static.tildacdn.com/tild3933-6237-4331-b135-346636313338/Alafouzoff_4.jpg)

Каждое из отделений представляло собой многофункциональный доходный комплекс с сохранением жилой функции (для рабочих и обслуживающего персонала) и преобладанием производственной функции (льноперерабатывающая и прядильная фабрики, кожевенный завод и производство кожаных изделий и т.д.).

На примере развития Алафузовского промышленного комплекса отражен характерный для рассматриваемого периода процесс формирования и развития промзданий и комплексов пригородных слобод Казани.

Подобные промышленные комплексы получили развитие и в других регионах России. Особенно близкими по развитию были комплексы слобод Иваново-Вознесенска и Орехово-Зуево Ярославской губернии [17]. Архитектура зданий имела много общего с постройками Алафузовских комплексов (краснокирпичные здания с надстроенными деревянными этажами сушилен, многоэтажные кирпичные здания текстильных фабрик в стиле эклектики классицистического направления, вспомогательные объекты и т.д.) [18].

Архитектурно-стилистическое единство производственных зданий промышленных комплексов различных регионов объяснялась схожестью технологических процессов, экономической целесообразностью и едиными законодательными строительными нормами государства.

Заключение

1. На основе проведения архивно-библиографических исследований и натурных обследований объектов на территории бывшей Ягодной слободы в Кировском районе на примере комплекса фабрики Алафузовых выявлен процесс формирования промышленных зон в слободах Казани и его особенности.
2. Заводы и фабрики в слободах развивались на первоначальной территория жилищно-производственной усадьбы конца XVIII – начала XIX вв. в соответствии с технологическими потребностями за счет уплотнения застройки, замены первоначальных деревянных построек на кирпичные или надстройки ранее существовавших каменных зданий, превратившись к концу 1870-х годов в многофункциональные промышленные комплексы. К началу XX века, с расширением производств дальнейшее развитие комплексов протекало двумя путями. При наличии возможности у хозяев заводов и фабрик скупать соседние усадьбы формировались промышленные комплексы на единой территории. В случае с Алафузовской бабрики такой возможности не было и к концу 1910-х годов сложился гигантский архитектурно-пространственный фабрично-заводской и торгово-промышленный комплекс в рамках единого «Торгово-промышленного Общества Алафузовских фабрик и заводов» в пространстве Ягодной слободы. Особенность его заключалась в наличии нескольких производственных комплексов, связанных уличными коммуникациями в структуре одной слободы.
3. Сопоставление полученных результатов по Алафузовскому комплексу с развитием аналогичных промзон в других регионах России показало, что подобная картина была характерна и для других российских городов (Орехово-Зуево, Вознесенск и др. города с развитой текстильной промышленностью). Однако в этой части Казани целенаправленно сформировался единый архитектурно-пространственный комплекс, состоявший из взаимосвязанных предприятий льноперерабатывающей, текстильной и кожевенной промышленности. Установлено, что развитие Алафузовского промышленного комплекса протекало в соответствии с общими закономерностями, присущими развитию промышленных зон в исторических слободах Казани и других городов, как специфических архитектурно-градостроительных образований России второй половины XVIII - начала XX вв.

Список литературы /References

1. Морозова Е. Б. Промышленное здание в истории архитектуры. Минск: БНТУ, 2017. 303 с. [Morozova E. B. Industrial building in the history of architecture. Minsk: BNTU, 2017. 303 p.].

2. Снитко А.В. Развитие архитектурной типологии производственных зданий текстильных предприятий Центральной России в контексте мировых тенденций // Архитектурные концепции формирования, реконструкции и ревитализации гражданских и промышленных объектов. Архитектура, градостроительство и дизайн № 31 2022. С.10-18 [Snitko A.V. Development of architectural typology of industrial buildings of textile enterprises of Central Russia in the context of world trends // Architectural concepts of formation, reconstruction and revitalization of civil and industrial facilities. Architecture, Urban Planning and design No. 31, 2022. P.10-18].
3. Истомин Б.С. Архитектурно-строительная реновация и реконструкция ткацких фабрик XIX - начала XXI вв. в России / Б.С. Истомин, Е.В. Малая // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. №2(47). С. 171-185.[Istomin B., Malaya E. Architectural and Construction Renovation and Reconstruction of Weaving Mills of the XIX - early XXI century in Russia. Architecture and Modern Information Technologies, 2019, no. 2(47), P. 171-185].
4. Гельфонд А.Л. Архитектурные аспекты преобразования бывших портовых территорий // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 3. С. 40-50. – DOI 10.22337/2077-9038-2022-3-40-50. – EDN PJDEWT [Gelfond, A. L. Architectural aspects of the transformation of former port territories // Academia. Architecture and construction. 2022. No. 3. P. 40-50. – DOI 10.22337/2077-9038-2022-3-40-50. – EDN PJDEWT].
5. Воличенко О.В., Рычкин Е.Д.Реновации промышленных территорий - как фактор преобразования городского ландшафта // Архитектура и строительство России. – 2018. № 2(226). С. 84-91. – EDN XTQKGL [Volichenko O.V., Rychkin E.D. Renovation of industrial territories - as a factor of urban landscape transformation // Architecture and construction of Russia. 2018. № 2(226). P. 84-91. – EDN XTQKGL].
6. Прокофьева Е.Ю., Васильев Н.В. Современные тенденции реабилитации антропогенных территорий // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 4. С. 87-93. - DOI 10.22337/2077-9038-2019-4-87-93. – EDN PHDFZR [Prokofieva E.Yu., Vasiliev N.V. Modern trends in rehabilitation of anthropogenic territories // Academia. Architecture and Construction. 2019. No. 4. P. 87-93. – DOI 10.22337/2077-9038-2019-4-87-93. – EDN PHDFZR].
7. Черкасов Г.Н., Попова Д.Д. Город - индустриальные зоны - общественные пространства // Архитектура и строительство России. 2020. № 4(236). С. 100-107. – EDN MUFFCS [Cherkasov G.N., Popova D.D. City - industrial zones - public spaces // Architecture and construction of Russia. 2020. № 4(236). P. 100-107. – EDN MUFFCS].
8. Попова Д.Д. Этапы социализации индустриального наследия в Москве // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 8. С. 1090-1104. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.8.1090-1104. – EDN XQPJRX [Popova D.D. Stages of socialization of industrial heritage in Moscow // Bulletin MGSU. 2020. Vol. 15, No. 8. P. 1090-1104. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.8.1090-1104. – EDN XQPJRX].
9. Романова А.И., Шагиахметова Э.И., Терентьев А.Г., Галимова Л.Р., Хусаинова Д.Р. Сравнительный анализ вариантов ревитализации промышленных объектов // Экономика и предпринимательство. 2022. № 10(147). С. 1180-1185. – DOI 10.34925/EIP.2022.147.10.235. – EDN PAAZUP [Romanova A.I., Shagiakhmetova E.I., Terentyev A.G., Galimova L.R., Khusainova D.R. Comparative analysis of options for revitalization of industrial facilities // Economics and entrepreneurship. 2022. № 10(147). P. 1180-1185. – DOI 10.34925/EIP.2022.147.10.235. – EDN PAAZUP].
10. Князев Д.К. Техническое перевооружение предприятия как инструмент управления эколого-гигиеническими рисками промышленного города // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12, № 12(111). – С. 1399-1407. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.12.1399-1407. – EDN YMEBYC [Knyazev D.K. Technical re-equipment of an enterprise as a tool for managing environmental and hygienic risks of an industrial city // Bulletin of MGSU. 2017. Vol. 12, No. 12(111). P. 1399-1407. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.12.1399-1407. – EDN YMEBYC].

11. Nikitin Yu., Tsepilova O. Synergistic analysis of the historical and cultural development of industrial architecture // Architecture and Engineering/ Volume 6 Issue 1 (2021). P. 32-39 . DOI:10.23968/2500-0055-2021-6-1-32-39.
12. Быстрова Т. Ю. Методы регенерации объектов индустриальной архитектуры в малых городах // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 1 | 2020. С.42-47. DOI 10.25628/UNIIP.2020.44.1.008 [Bystrova T. Yu. Methods of regeneration of industrial architecture objects in small towns // Academic bulletin of URALNIIPROEKT RAASN. 1 | 2020. P.42-47. DOI 10.25628/UNIIP.2020.44.1.008].
13. Hubert Pragnell. Industrial Britain: An architectural history. Batsford, 2021. P.256.
14. Feihui Luo. Analysis on the Development of Industrial Architectural Heritage Regenerative Design // Advances in Social Science, Education and Humanities Research, volume 471. Proceedings of the 2nd International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (AHTI 2020).
15. Serebryanaya V., Makhova Sv. Investigation of Industrial Architecture's Monuments in the 19th to Early 20th Centuries in Volgograd Region // Advances in Social Science, Education and Humanities Research, volume 324. Published by Atlantis Press. 2019. P.123-129.
16. Evan Sugden. The Adaptive Reuse of Industrial Heritage Buildings: A Multiple-Case Studies Approach. Waterloo, Ontario, Canada, 2017. – P.140.
17. Савельева Н.В. Историко-архитектурный анализ комплекса дореволюционной промышленной усадьбы Рябчиковых в г. Иваново // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова 2021, №11. С. 89-96. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-89-96 [Savelyeva N.V. Historical and architectural analysis of the complex of the pre-revolutionary Ryabchikov industrial estate in Ivanovo // Bulletin of V.G. Shukhov BSTU 2021, No. 11. P. 89-96. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-89-96].
18. Савельева Н.В. Архитектура промышленных усадеб г. Иваново-Вознесенска Владимирской губернии второй половины XIX – начала XX вв. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры. Нижний Новгород. 2021, 28 с. [Savelyeva N.V. Architecture of industrial estates of Ivanovo-Voznesensk, Vladimir province of the second half of XIX – early XX centuries. ABSTRACT of the dissertation for the degree of Candidate of Architecture. Nizhniy Novgorod. 2021. 28 p.].
19. Шипицына О. А. Особенности формирования индустриальных ансамблей Урала // Урал индустриальный. Бакунинские чтения: материалы XIV Всероссийской научной конференции, Екатеринбург, 16–17 ноября 2020 г.: в 2-х томах. Т. 2. Екатеринбург: ООО Изд-во УМЦ УПИ, 2020. - С. 424-430 [Shipitsyna O. A. Features of the formation of industrial ensembles of Ural / O. A. Shipitsyna // Ural industrial. Bakunin readings: materials of the XIV All-Russian Scientific Conference, Yekaterinburg, November 16-17, 2020: in two volumes - Vol. 2. - Yekaterinburg: LLC Publishing House of UMC UPI, 2020. P. 424-430].
20. Meng Fanlei, Hu Yaning, Lin Ziteng, Yu Qiang. Research On the Development From Architecture To Architectural Heritage: Take Industrial Architecture Heritage as an Example // UIA 2021 RIO: 27th World Congress of Architects / https://www.acsa-arch.org/proceedings/International%20Proceedings/ACSA.Intl.2021/ACSA.Intl.2021.96.pdf.
21. Нугманова Г. Г. Промышленные усадьбы Казани XIX - начала XX в.// Памятники русской архитектуры и монументального искусства. Вып. 7: XVI - XX вв. 2005. С. 379 – 407 [Nugmanova G. G. Industrial estates of Kazan of XIX - early XX century.// Monuments of Russian architecture and monumental art. Issue 7: XVI - XX centuries 2005. - P. 379 – 407].
22. Анисимов Н.Г. Казанский Льнокомбинат 100 лет. - Казань: Татарское книжное издательство, 1960. - 584 с [Anisimov N.G. Linen-spinning factory of Kazan, 100 years. - Kazan: Tatar publishing house, 1960.-584 p.]
23. Габдрафикова Л.Р., Измайлов Б.И., Салихов Р.Р. Фирма Алафузова (вторая половина XIX – начало XX века): промышленная история России. Казань., 2015. 276 с. [Gabdrafikova L.R., Izmailov B.I., Salikhov R.R. Alafuzov Firm (the second half

of the XIX–the beginning of the XX century): industrial history of Russia. Kazan., 2015. 276 p.].
24. Шипицына О.А. История промышленного зодчества Урала: эволюция научных исследований // История и современное мировоззрение. 2020. Т. 2. №1. С. 67-75 [Shipitsyna O. A. The history of industrial architecture of Ural: the evolution of scientific research // History and modern worldview. 2020. Vol. 2. No. 1. P. 67-75].
25. Мусина К.И. Индустриальное наследие второй половины XIX – начала XX веков в культурном пространстве Казани. Казань, 2021. 224 с. [Musina K.I. Industrial heritage of the second half of the XIX – early XX centuries in the cultural space of Kazan. Kazan, 2021. 224 p.].
26. Raquel Lacuesta.Catalan industrial architecture in the last quarter of the 19th century and first quarter of the 20th century // CATALAN HISTORICAL REVIEW, 10: 59-75 (2017) Institut d'Estudis Catalans, Barcelona. DOI: 10.2436/20.1000.01.132.
27. Kvardová V. Architectural Style and Decoration of the Industrial Buildings from the Late 19 Century and the Early 20 Century //Athens: ATINER'S Conference Paper Series, No: ARC2013-0569. 2013 - P.5-17.
28. Nelly Hanna. Incorporation of the textile industry in the 19th century/ Conference: La France et l'Egypte a l'epoque des vice rois. 02/2002 DOI:10.13140/2.1.2275.6807.
29. Трошанин Н.В. Промышленная империя Алафузовых в Казанском Заречье / https://www.csgo-kazan.ru/images/statji kazan.ru/images/statii/industrial_imperya_alafuzov.pdf. [Troshanin N.V. The industrial empire of the Alafuzovs in the Kazan District // https://www.csgo-kazan.ru/images/statji kazan.ru/images/statii/industrial_imperya_alafuzov.pdf].
30. Салихов Р.Р., Измайлов Б.И. Роль торгово-промышленного капитала в развитии здравоохранения в Адмиралтейской и Ягодной слободах г.Казани / http://www.tataroved.ru/institut/novhist/publ/11 [Salikhov R.R., Izmailov B.I. The role of commercial and industrial capital in the development of healthcare in the Admiralty and Yagonaya settlements of Kazan / http://www.tataroved.ru/institut/novhist/publ/11 /].

Информация об авторах

Надырова Ханифа Габидулловна, доктор архитектуры, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: nadyrova-kh@yandex.ru
Хайруллина Альбина Тагировна, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: steffanili@mail.ru
Надырова Диляра Айдаровна, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: dilyaran@yandex.ru

Information about the authors

Hanifa G. Nadyrova, Doctor of Architecture, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: nadyrova-kh@yandex.ru
Albina T. Khairullina, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: steffanili@mail.ru
Dilyara A. Nadyrova, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: dilyaran@yandex.ru

УДК: 727.3
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_205
EDN: JNSFSI

Комплексное развитие университетских кампусов на основе архитектурно планировочных моделей

Е.С. Пономарев[1], Е.В. Евгеньева[2]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация
[2] ООО «Инжиниринг Констракшн», г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Университетский кампус – это многофункциональный комплекс с многосложными иерархическими композиционно-пространственными связями на разных уровнях пространственно-планировочной организации. В статье рассмотрены вопросы формирования архитектуры университетских кампусов. Проанализирован опыт разных стран организации их территорий архитектурно-пространственного построения объемно-планировочной системы университетского кампуса в качестве комплексного объекта проектирования. Целью данного исследования является изучение комплексного развития университетских кампусов на основе архитектурно планировочных моделей. Задачи исследования: выявление основных архитектурно-планировочных элементов университетского кампуса и их типов; формирование сквозной типологии университетских кампусов и создание основных типологических моделей их дальнейшего развития; разработка концептуального предложения по комплексному преобразованию университетского кампуса Казанского государственного архитектурно-строительного университета. *Результаты.* Разработана архитектурная типология, которая выявляет основные объемно-планировочные типы университетских кампусов. Выявлены основные функции и объемно-пространственные составляющие, сформировавшиеся в композиционно-планировочной структуре кампусов как отдельные объекты исследования. Проанализирован и систематизирован состав, принципы построения и размещения университетских кампусов.

Ключевые слова: архитектурно-пространственная структура, планировочная структура, типология, функциональная схема, университетские кампусы, общежития

Для цитирования: Пономарев Е.С., Евгеньева Е.В. Комплексное развитие университетских кампусов на основе архитектурно планировочных моделей // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.205-215, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_205, EDN: JNSFSI

Integrated development of university campuses based on architectural planning models

E.S. Ponomarev[1], E.V. Evgenieva[2]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation
[2] “Engineering Construction” LLC, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. A university campus is a multifunctional complex with hierarchical compositional and spatial connections at different levels of spatial planning organization. The article discusses the issues of forming the architecture of university campuses. Foreign and domestic experience in organizing their territories of architectural and spatial construction of the space-planning system of a university campus as a complex design object is analyzed. The purpose of this study is to develop principles for the integrated development of university campuses based on architectural planning models. The research objectives are identifying the main architectural and planning elements of the university campus and their types; the formation of a cross-cutting typology of university campuses and the creation of basic

typological models for their further development; development of a conceptual proposal for the comprehensive transformation of the Kazan State University of Architecture and Engineering campus. *Results.* The architectural typology has been developed that identifies the main space-planning types of university campuses. The main functions and volumetric-spatial components formed in the compositional and planning structure of campuses as separate objects of research have been identified. The composition, principles of construction and placement of university campuses are analyzed and systematized.

Keywords: architectural and spatial structure, planning structure, typology, functional diagram, university campuses, dormitories

For citation: Ponomarev E.S., Evgenieva E.V. Integrated development of university campuses based on architectural planning models // News of KSUAE, 2023, № 4(66), p.205-215, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_205, EDN: JNSFSI

1. Введение

Пространства университетских кампусов непрерывно используются в течении всего учебного года и тесно взаимосвязаны взаимно-проникающими функциональными перемещениями учащихся, профессорско-преподавательского состава, администрации и обслуживающего персонала. При этом образовательная пространственная среда, сформированная в университетском кампусе, оказывает непосредственное влияние на всестороннее развитие личности учащихся. В настоящее время в России наблюдается проблема отсутствия комплексного развития пространственно-планировочной организации сложившихся университетских кампусов. Такое комплексное развитие в настоящем исследовании предлагается разработать на основе концептуальных архитектурных моделей, применяемых к выявленной нами типологии университетских кампусов. При этом необходимо сформировать концепцию комплексного развития, которую можно описать как: «университет — студенческий городок». Одна из главных проблем данной разработки – это различные виды расположения кампусов по отношению к городской ткани, что создает бесконечное разнообразие взаимосвязей между городскими пространствами и внутренними пространствами кампусов. Следовательно, при выборе развития архитектурно-планировочной структуры кампуса необходимо учитывать сложившийся на сегодняшний день тип университетского кампуса по отношению к градостроительной ситуации. Если городская ткань пересекает внутреннее пространство университетского кампуса, то в развитие последнего непосредственно включается инфраструктура города. При этом пространство городских улиц формирует архитектуру университетских кампусов [1, 2]. Создаются идентифицируемые пространства, которые становятся точками соприкосновения между университетским кампусом и городом. Интеграция университетских кампусов в городскую ткань способствует социально-экономическому развитию города, так как становится частью доступной городской среды, например для проведения открытых выставок, конференций и других публичных мероприятий, связанных с образовательным процессом. Одним из таких вариантов интеграции городской среды во внутреннее пространство кампуса стали сквозные дворы, представляющие собой парковые зоны и благоустроенные аллеи. Внедрение зеленой архитектуры во внутреннее пространство университетского кампуса благотворно для развития интеллектуальных личностных характеристик учащихся, и, одновременно способствует оздоровлению городской среды. [3, 4]. Подобные подходы решают проблему чересполосицы пространств города и кампуса, и способствуют созданию эффективного интегрирования архитектуры университетского кампуса с городской средой [5].

Университетские кампусы могут быть различных типов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее распространенными являются следующие:

1. Кампусы в городах. Данные кампусы расположены в городских районах, что является преимуществом, так как в городе расположены все блага необходимые для комфортной жизни человека. Но такие кампусы часто ограничены в планировке и

учебные здания чаще всего располагаются в отдалении друг от друга. Такой разброс зданий мешает координации учебного процесса.

2. Кампусы в пригородах. Кампусы расположены в спокойных и живописных районах за городом. Обычно они предлагают широкие зеленые зоны для отдыха и развлечений студентам, но недостатком является отдаленность от развитой инфраструктуры города.

3. Загородные кампусы. Кампусы находятся за городом в удаленных районах и обычно имеют большие, просторные территории. Они способствуют более уединенной и спокойной атмосфере, что может быть полезным для интровертов. Однако такие кампусы могут быть далеко от главных городских объектов и инфраструктуры, что может вызывать затруднения в организации досуга для студентов [6].

В каждом случае выбор типа кампуса должен быть основан на индивидуальных потребностях и предпочтениях студента. Независимо от этого, каждый кампус является местом, где можно получить образование, развиваться и наслаждаться активной студенческой жизнью. Анализируя научные труды других авторов, можно выявить отличительные черты университетских кампусов: с позиции пространственной организации кампус; с позиции информационного обеспечения кампус; с позиции педагогической деятельности кампус. Но вне зависимости от функционального назначения кампусов можно выявить связующее звено [7].

В современных университетах происходит формирование личности учащихся, их социализация и завершается этап взросления становлением системы ценностей индивида [8]. Возникает необходимость повышения качества образовательных услуг путем адаптации учебного процесса к современным технологиям и пространственным изменениям. Например, возникает необходимость внедрять трансформируемость габаритов внутреннего пространства кампусов для расширения диапазона возможностей образовательной среды, так как для расширения возможностей образовательной среды может потребоваться внедрение гибкости внутреннего пространства кампусов. Также назревает необходимость создавать адаптивные условия проживания как для местных обучающихся, так и для иностранных слушателей. Создаются открытые пространства для лучшего взаимодействия между учащимися, профессорско-преподавательским составом и другими сотрудниками. При этом необходимо соблюдать четкую грань между зонами личного комфорта и зонами неформального общения [9]. Необходимо создавать открытые площадки, учитывая потребности и интересы студентов. Кроме рекреационных и коммуникативных пространств, нужны дополнительные пространства для выездных лекций и практических занятий. Человек усваивает больше знаний непосредственно во время отдыха, вследствие чего данные пространства становятся неотъемлемым элементом преимущества университетских кампусов. Открытые озелененные пространства в кампусах оказывают восстановительное воздействие на психо-физиологическое здоровье студентов, уменьшается стресс и усталость. Естественный звук и разнообразие растений благоприятно влияет на настроение всех пользователей внутренних пространств университетских кампусов [10,11]. Создание благоустроенного ландшафта играет важную роль в развитии университетского кампуса: обеспечивается эффективное полноценное функционирование пространств различного назначения и их взаимодействие; формируется эстетически-привлекательный пейзажей открытых пространств; расширяются возможности рекреационных пространств при проведении разнообразных мероприятий; улучшается экологическое состояние открытых пространств, которые наполняются биоразнообразием [12,13].

Современные цифровые средства биоидентификации — это отличная возможность улучшения безопасности. Актуален на сегодняшний день отказ от ограждений территории университетских кампусов для возможности его посещения желающими горожанами [14]. На данное время в университетских кампусах начинают применять системы распознавания лиц или смарт-карты, которые устанавливаются при входе в жилые блоки [15,16]. Такие технологии позволяют расширить возможность общения и дистанционного обучения, как в период пандемии, так и любой другой период.

Транспортные средства непосредственно влияют на экологию окружающей среды и привлекательность пространств университетского кампуса. Переход на более

экологичные виды транспорта и активной мобильности, а также отказ от автомобильного передвижения на территории кампусов улучшает безопасность. При этом формируется привлекательный образ университетского кампуса, что важно для поступающих абитуриентов. Уменьшение автотранспортных средств на территории университетских кампусов повышает комфорт пребывания студентов и других работников вуза [17,18].

Часто наблюдается нехватка территорий для дальнейшего развития университетских кампусов, что становится проблемой. Вследствие чего объекты кампуса строятся дискретно на большом расстоянии друг от друга и разбросаны в разных частях города. В таких случаях необходимо анализировать возможность реконструкции существующих объектов, на предмет компенсации нехватки территорий повышением этажности архитектурных объектов кампуса и созданием мультифункциональности внутренних пространств. Так же одним из возможных решений является использование заброшенных сооружений вблизи университетского кампуса [19].

При разработке концепции развития существующих университетских кампусов необходимо большое внимание уделять принципам устойчивого развития среды, реализации экологического потенциала и энергетической автономности [20]. Это необходимо как для университетских кампусов, расположенных в городской ткани, так и для университетских кампусов, расположенных за пределами городской ткани. Новые учебные заведения располагаются на периферии или за городом, из-за ограниченного количества и высоких цен на землю внутри города. При расположении университетских кампусов на периферии города существуют ряд преимуществ, например, изолированность образовательного пространства от влияния городской среды. Однако наблюдаются и проблемы, одной из которых является труднодоступность такого удаленного университетского кампуса. Как правило, на периферии городская ткань имеет ряд недостатков — это отсутствие благоустроенной городской среды; перенасыщением автотранспортом; стихийно возникающие людские потоки; шум и загрязнение окружающей среды. Такие негативные характеристики периферийных пространств города имеют негативные социальные последствия и отрицательно влияют на развитие, находящихся на периферии, университетских кампусов [21,22].

Большинство университетских кампусов в России находятся в стадии развития и реорганизации их архитектуры и пространственно-планировочных решений. Зарубежные университетские кампусы, как правило, уже сформированы и не имеют потенциала для дальнейшего развития несмотря на то, что обладают более высоким качеством пространственной среды. Такая ситуация создает возможности для опережающего развития отечественных университетских кампусов в условиях их реконструкции. Для них необходимо создать концептуальные модели комплексного развития средствами архитектурно-планировочного проектирования, достигая связанности и интегрированности их пространственных структур. Актуализация преобразования образовательной среды обучения для будущих профессионалов создает почву для настоящего исследования, целью которого является разработка типологии пространственных моделей университетских кампусов для дальнейшего выявления методики и принципов проектирования объектов, составляющих университетские кампусы.

Целью данного исследования является изучение комплексного развития университетских кампусов на основе архитектурно планировочных моделей. Задачами исследования при этом являются: выявление основных архитектурно-планировочных элементов университетского кампуса и основных типов университетских кампусов в качестве комплексных пространственно-планировочных объектов; формирование сквозной типологии университетских кампусов и создание основных типологических моделей их дальнейшего развития; разработка концептуального предложения по комплексному преобразованию университетского кампуса КГАСУ.

2. Материалы и методы исследования

Данное исследование осуществлялось на основе применения анализа научных источников и нормативной литературы. Также производились натурные обследования университетского кампуса Казанского государственного архитектурно-строительного

университета. Осуществлялся поиск информации по существующим чертежам университетских кампусов, расположенных в разных частях света. Анализ пространственно-планировочных структур университетских кампусов и их функционирования производился на базе открытых источников. Графоаналитическая часть исследования основывается на воссоздании типичных моделей университетских кампусов согласно разработанной типологии.

Был проведён социологический анализ на базе анкетирования обучающихся КГАСУ, для определения их личных приоритетов в типологии кампусов. Впоследствии эта информация легла в основу типологических моделей комплексного развития университетского кампуса.

Теоретический метод синтезирования информации позволил выстроить вектор развития для каждого определенного типа университетского кампуса, а также разработать предложения для адаптации существующей пространственно-планировочной структуры кампуса к существующей градостроительной ситуации.

3. Результаты и обсуждение

Анализируя структуру университетских кампусов относительно городской ткани, одновременно учитывая формирование множественных связей между объектами, расположенными на их территории, выделяются основные направлена развития университетских кампусов:

1. По градостроительным аспектам, кампус чаще всего интегрируют в город, реконструируют или строят на новых территориях [23]. При проектировании на новых территориях авторы вольны использовать любые решения для проектирования, но при выборе реконструкции необходимо сохранить традицию и историю университетского кампуса. Во всех аспектах в университетском кампусе должны быть учтены все функции необходимые для комфортной жизни, в особенности объединение разбросанных объектов на одной территории, что способствует уменьшению проводимого времени студентами на дорогу и становится центром притяжения жизни города.

2. Архитектурное разнообразие сооружений становится визитной карточной университетского кампуса. Однообразные строения чаще всего наводят в уныние и становится некомфортными для пребывания в данной зоне.

3. Увеличение мобильности на территории кампуса способствуют экологически чистый транспорт. Такой вид транспорта уменьшает загрязнение окружающей среды, это благополучно влияет на здоровье людей, как в физическом плане, так и психологическом. [24]. Для пригородных кампусов проблема с транспортом особенно актуальна, в следствии усугубляется жизнь, социальные последствия связаны со стрессом и последствиями для здоровья тяжелых движение. Они сталкиваются с социальной изоляцией и неравенством из-за недостаточной мобильности и отсутствия доступа к возможностям и социальным сетям.

4. Необходимо уделять внимание окружающей среде, это способствует повышению уровня жизни населения и повышает развитие экономических и социальных аспектов регионов и городов [25]. Многие исследователи доказывают, что природа снимает стресс, улучшает концентрацию внимания, увеличивается количество спонтанных наблюдений, человек становится спокойнее, менее склонным к конфликтам. соприкосновение с открытой средой является важным источником мотивации образовательных и творческих процессов.

5. Одна из проблем университетского кампуса отсутствие зеленой архитектуры, в последствии чего страдает окружающая среда. Рекреационные зоны должны включать в себя: пассивные зоны для проведения медитаций, чтения и наслаждением пейзажами; площадки для прогулок на открытом воздухе; большое количество растительного покрова; пространства для проведения мероприятий на открытом воздухе.

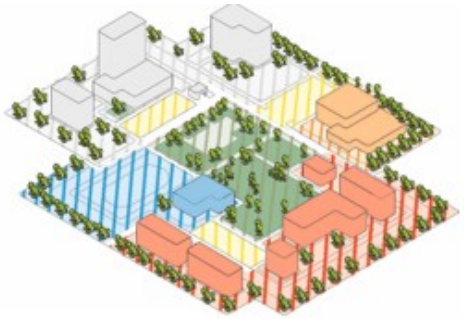
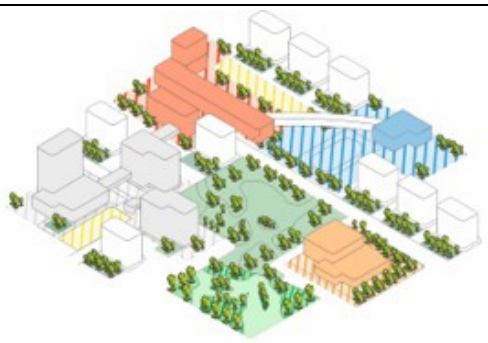
Каждый тип университетского кампуса различается по пространственным и функциональным характеристикам. Но независимо от различий, можно выделить общие черты и выявить основные модели развития университетских кампусов.

Исходя из существующих исследований ученых, были выделены основные типы университетских кампусов в качестве актуальных на сегодняшний день:

интегрированный компактно-автономный; замкнутый центрично-автономный; открытый дискретно-сетевой; мультипространственный мегакампус (табл. 1).

Таблица 1

Концептуальные модели комплексного развития университетских кампусов на основе выявленной типологии

	Типология существующих университетских кампусов	Концептуальные модели комплексного развития университетских кампусов
Интегрированный компактно-автономный кампус	Университетский кампус, расположенный внутри городской ткани. Городская среда не нарушает существующую планировочно-пространственную структуру кампуса	
Открытый кластерный кампус дискретно-сетевого типа	отдельные части кампуса представляют собой кластеры, расположенные на удалении друг от друга. Каждый отдельный кластер — это самодостаточная архитектурно-пространственная среда. Все что включено в университетский кампус, реализовано в институте.	
Замкнутый центрично-автономный кампус	Кампус как единое сооружение. Все сооружения соединены между собой. Занимает небольшое пространство внутри города. Ориентирован на мини кампусы, большая часть — это колледжи.	
Изолированный мультипространственный мегакампус	Является центром, формирующим город. Основное преимущество - создание мегакампуса с несколькими университетами в одном месте. Каждый элемент не зависит от другого.	

Условные обозначения:

учебно-научная зона

общественная зона

жилая зона

рекреационная зона

спортивная зона

Согласно таблице 1 на основе выявленной типологии существующих университетских кампусов предлагается построить комплексные модели их развития:

1. Интегрированный компактно-автономный кампус

Одно из главных направлений архитектурно-планировочного развития университетского кампуса интегрированного типа предлагается вести на основе поиска имеющихся пространственных резервов самого кампуса, например использование цокольных этажей, уплотнение существующих сооружений или повышение этажности (надстройки). Такой тип соединяет объекты, расположенные вблизи друг друга, наземным переходом, что дает студентам возможность свободно перемещаться в кампусе без выхода из здания.

2. Открытый кластерный кампус дискретно-сетевого типа

Главной особенностью данного типа университетского кампуса является его дискретность расположения в городской ткани. Архитектурно-планировочное развитие такого типа предлагается на основе внедрения в межкампусные пространства города зеленую архитектуру и благоустройство, что повысит экологическую привлекательность, позволит синтезировать архитектуру города и кампуса, развивая тем самым образовательную среду повышая ее разнообразность. Есть возможность реализации по всему городу

3. Замкнутый центрично-автономный кампус

Представленный тип университетского кампуса представляет собой комплексный архитектурный объем, являющийся единым сооружением. Особенностью такого университетского кампуса является минимальная площадь территории по пятну застройки. Здесь сосредоточено максимальное количество функций, расположенных компактно в границах единого сооружения. Основным направлением архитектурно-планировочного развития является повышением этажности и созданием сверх-урбанизированного архитектурного объема.

4. Изолированный мультипространственный мегакампус.

Данный тип университетского кампуса представляет собой мини город. Примерами данной схемы исторические университетские кампусы, что подчеркивает их комфортность для обучения. Данный вид кампуса в основном располагается в пригородах и представляет собой крупную территорию площадью в несколько десятков гектар, застроенную разно-функциональными объектами. Такой тип кампуса предлагается развивать на основе создания единой развитой инфраструктуры на территории кампуса, сохраняя при этом стилистическую гармонизацию создаваемой образовательной среды.

В качестве примера развития университетского кампуса рассмотрим кампус Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Данный вид кампуса относится к первому типу интегрированному компактно-автономному. Согласно последним предложением, объединенным в единую концепцию данный кампус предлагается развивать на основе найденных пространственных резервов (рис. 1):

— объекты спортивной инфраструктуры предлагается воздвигать на сложно осваиваемых территориях, в границах кампуса – склоны и овраги, предварительно проведя инженерно-подготовительные мероприятия;

— объекты временно-жилых корпусов предлагается возводить в качестве многофункциональных сооружений, реконструируя и достраивая существующие общежития, объединяя в комплексные ансамбли;

— основные лабораторно-учебные пространства предлагается создать в качестве единой надстройки, одновременно являющимся переходом, объединяющим существующие корпуса и учебные и административные блоки.

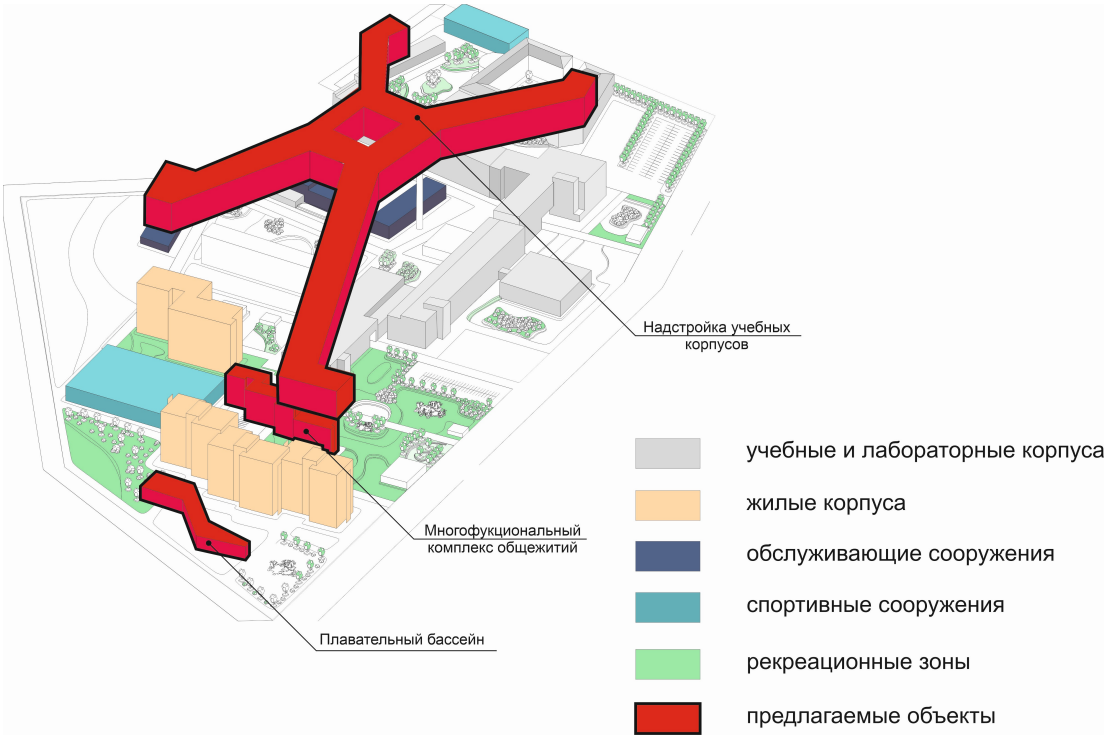


Рис. 1. Комплексная модель развития кампуса Казанского государственного архитектурно-строительного университета (иллюстрация авторов)
Fig. 1. A comprehensive model for the development of the campus of the Kazan State University of Architecture and Engineering (Iillustration by the authors)

Заключение

1. Таким образом, в результате выполнения исследования были выявлены основные типы университетских кампусов в качестве комплексных пространственно-планировочных объектов, опираясь на научные труды отечественных и зарубежных авторов. В представленной типологии университетских кампусов отражена их связь с городской тканью. Одновременно выявлены основные функции университетских кампусов.

2. Сформирована сквозная типология университетских кампусов. Разработаны и предложены основные модели, демонстрирующие направления их дальнейшего развития на основе разработанной типологии.

3. Предложена концепция комплексного преобразования университетского кампуса.

Список литературы/ References

1. Roberto De Lotto, Alessandro Greco, Marilisa Moretti, Caterina Pietra, Elisabetta M. Venco, Collaborative Soft Mobility Planning for University Cities: The Case of Pavia//Transportation Research Procedia, Volume 60, 2022, P. 472-479, Version of Record 13 January 2022. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.061
2. Yan Gua, Juanjuan Zhaob, Thomas Herzoga, Qizhi Maoc, Peter Latza,Exploring the space use mechanism of high-density campus in urban Beijing // Habitat International, Volume 91, September 2019, 102024,Version of Record 1 August 2019https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.102024
3. А. В. Попов, П. А. Потапова Проектирование кампусов вузов в аспекте устойчивого развития // Экология урбанизированных территорий. 2020. №4. – С. 146-156. [A. V. Popov, P. A. Potapova Design of university campuses in the aspect of sustainable development // Ecology of urbanized territories. 2020. No. 4. – P. 146-156.] – DOI 10.24412/1816-1863-2020-4-146-156. – EDN LTCEMX.

4. ZetongJiaoa, BenchenFua, Research on the Niche Strategy of Campus Planning// Energy Procedia, Volume 157, January 2019, P. 782-792, Version of Record 25 January 2019 https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.244
5. Ingy Ibrahim El-Darwish, Enhancing outdoor campus design by utilizing space syntax theory for social interaction locations // Ain Shams Engineering Journal, Volume 13, Issue 1, January 2022, 101524, Version of Record 23 December 2021 https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.06.010
6. Попов А.В., Сырова О.И. Вопросы архитектурно-градостроительной типологии кампусов вузов // Инновации и инвестиции. 2021. №1. – С. 157-161. [Popov A.V., Syrova O.I. Issues of architectural and urban planning typology of university campuses // Innovations and investments. 2021. No. 1. – P. 157-161.] – EDN HAGXTU.
7. Сергеева С.В., Дианова Ю.А. Кампус: сущность понятия и классификация типов // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 6-1. – С. 186-190 [Sergeeva S.V., Dianova Yu.A. Campus: the essence of the concept and classification of types // Modern science-intensive technologies. – 2021. – No. 6-1. – P. 186-190]; URL: https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38720
8. Елисеев А.М., Подопригора Ю.В., Захарова Т.В., Кампусы будущего в университетских городах России и Франции в условиях цифровой экономики, инноваций и безбарьерной среды // Вестн. Том. гос. ун-та. Экономика. 2020. №49. С. 225-235 [Eliseev A.M., Podoprigora Yu.V., Zakharova T.V., Campuses of the future in university cities of Russia and France in the context of the digital economy, innovation and barrier-free environment // Bulletin of Tomsk State University. Economics. 2020. No. 49. P. 225-235] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kampusy-buduschego-v-universitetskih-gorodah-rossii-i-frantsii-v-usloviyah-tsifrovoy-ekonomiki-innovatsiy-i-bezbariernoy-sredy
9. Salomé A.Bentinck, Clarine J.van Oel, Machiel J.van Dorst, Perception of privacy in a university building: The transparency paradox// Frontiers of Architectural Research, Volume 9, Issue 3, September 2020, Pages 579-587, Version of Record 19 August 2020. https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.03.004
10. JaeyoungHaa, Hyung JinKimb, The restorative effects of campus landscape biodiversity: Assessing visual and auditory perceptions among university students // Urban Forestry & Urban Greening, Volume 64, September 2021, 127259, Version of Record 29 July 2021. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127259
11. JuliaFoellmerab, ThomasKistemanna, CarmenAnthonja, Academic Greenspace and Well-Being — Can Campus Landscape be Therapeutic? //Wellbeing, Space and Society, Volume 2, 2021, 100003, Version of Record 31 March 2021. https://doi.org/10.1016/j.wss.2020.100003
12. RonghuaWang, WuxianJiang, TianshuLu, Landscape characteristics of university campus in relation to aesthetic quality and recreational preference// Urban Forestry & Urban Greening, Volume 66, December 2021, 127389, Version of Record 29 October 2021 https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127389
13. Исмагилова С.Х., Сивцев А.В., Закирова Ю.А. Градостроительное формирование рекреационно-туристических кластеров в прибрежной зоне р. Лены Республики Саха (Якутия)// Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2021. – Т. 23, № 5. – С. 23-36. [Ismagilova S.Kh., Sivtsev A.V., Zakirova Yu.A. Urban planning formation of recreational and tourist clusters in the coastal zone of the river. Lena of the Republic of Sakha (Yakutia) // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. – 2021. – Vol. 23, No. 5. – P. 23-36.] – DOI 10.31675/1607-1859-2021-23-5-23-36. – EDN BVNHFW.
14. Попов А. В., Сырова О. И. Вопросы типологии открытых общественных пространств кампусов вузов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2021. – № 3(35). – С. 116-125. [Popov A.V., Syrova O.I. Issues of the typology of open public spaces on university campuses // Biospheric compatibility: people, region, technologies. – 2021. – No. 3(35). – P. 116-125.] – DOI 10.21869/2311-1518-2020-35-3-116-125. – EDN CZBMNB.

15. NasroMin-Allah, SalehAlrashed, Smart campus—A sketch // Sustainable Cities and Society, Volume 59, August 2020, 102231, Version of Record 13 May 2020. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102231
16. TingChena, Smart campus and innovative education based on wireless sensor // Microprocessors and Microsystems, China, Volume 81, March 2021, 103678, Version of Record 21 December 2020, https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103678
17. Roberta ProsiniCadenaa, Maurício Oliveirade Andradeb, Leonardo HerszonMeirac, Anísio Brasileirode Freitas Douradod, The pursuit of a sustainable and accessible mobility on university campuses// Transportation Research Procedia, Volume 48, 2020, Pages 1861-1880, Version of Record 15 September 2020. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.220
18. Patrick Rérat, A campus on the move: Modal choices of students and staff at the University of Lausanne, Switzerland// Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, Volume 12, December 2021, 100490, Version of Record 28 October 2021, https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100490
19. Stefano Cascone, Gaetano Sciuto, Recovery and reuse of abandoned buildings for student housing: A case study in Catania, Italy// Frontiers of Architectural Research, Volume 7, Issue 4, December 2018, Pages 510-520, Version of Record 6 December 2018, https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.08.004
20. Медяник Ю. В., Шагиахметова Э. Инвестиционная привлекательность строительства объектов социальной инфраструктуры в регионах // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2022. – № 8(142). – С. 32-40. [Medyanik Yu. V., Shagiakhmetova E. Investment attractiveness of construction of social infrastructure facilities in the regions // Regional problems of economic transformation. – 2022. – No. 8(142). – P. 32-40.]– DOI 10.26726/1812-7096-2022-8-32-40. – EDN ZHZPDW.
21. P. Papantonioua, G. Yannisa, E. Vlahogiannia, M. Attardb, A. Regattieric, F. Pianac, F. Pilatic, Developing a Sustainable Mobility Action Plan for University Campuses // Transportation Research Procedia, Volume 48, 2020, P. 1908-1917, Version of Record 15 September 2020, https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.223
22. Özgür Göçera, Kenan Göçerb, The effects of transportation modes on campus use: A case study of a suburban campus// Case Studies on Transport Policy, Volume 7, Issue 1, March 2019, P. 37-47, Version of Record 15 February 2019https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.11.005
23. Закирова Т. Р. Развитие советского модернизма в архитектуре общественных зданий Казани второй половины 1950-х - 1960-е годы // Архитектон: известия вузов. – 2022. – № 2(78). [Zakirova T. R. Development of Soviet modernism in the architecture of public buildings in Kazan in the second half of the 1950s - 1960s // Architect: news of universities. – 2022. – No. 2(78).] – DOI 10.47055/1990-4126-2022-2(78)-13. – EDN QOBBTC.
24. Prospects for shared electric velomobility: Profiling potential adopters at a multi-campus university// Journal of Transport Geography, Version of Record 13 September 2021, https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103190
25. Файзрахманова Г.Р. Деревянная архитектура малых форм и художественные объекты в общественных пространствах Казани // Архитектон: известия вузов. – 2018. – № 3(63). – С. 17. [Faizrakhmanova G.R. Wooden architecture of small forms and artistic objects in public spaces of Kazan // Architect: news of universities. – 2018. – No. 3(63). – P. 17.] – EDN YAABVB.

Информация об авторах

Пономарев Евгений Сергеевич, кандидат архитектуры, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: Ponom_argo@mail.ru
Екатерина Владимировна Евгеньева, архитектор ООО «Инжиниринг Констракшн», г. Казань, Российская Федерация
E-mail: katerinka.evgeneva@mail.ru

Information about the authors

Evgeniy S. Ponomarev, candidate of architecture, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: Ponom_argo@mail.ru

Ekaterina V. Evgenieva, architect, "Engineering Construction" LLC, Kazan, Russian Federation
E-mail: katerinka.evgeneva@mail.ru

УДК: 711.58
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_216
EDN: JPSTOH

Изучение архитектуры исторических районов Бейоглу в Стамбуле: Открытые исследования центральной части города

Б.Э.Йылмазсой[1]
[1]Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет,
г. Баку, Азербайджан

Аннотация: *Постановка задачи*. В статье проводится анализ архитектурных зданий, составляющих общественный центр кварталов в самом центральном районе Бейоглу в Стамбуле. Исследование фокусируется на восьми районах, которые условно разделены на три региона: северный, центральный и южный. *Цель работы.* Провести анализ архитектурных зданий и исторических районов Стамбула, включая Джихангир, Долапдере, Касымпаша и Тарлабаши, с учетом их значимости и вклада в формирование общественного центра города. *Задачами исследования являются:* проанализировать роль каждого из исследуемых районов в формировании богатого исторического и культурного наследия Стамбула, изучить изменения и развитие районов в первое десятилетие XXI века и проанализировать их актуальное состояние в архитектурном и социальном аспектах. Исследовать роль Стамбула как туристического центра и анализировать, как эти исторические районы привлекают внимание и интерес путешественников.
Результаты. Исследование подчеркивает географическую принадлежность района Бейоглу к Стамбулу и его историческое значение в качестве первого центра. Архитектурные элементы, такие как театры, общественные здания, гостиницы, рестораны, площади, галереи, мечети, церкви и другие религиозные сооружения, играли важную роль в формировании общественных центров в этом районе.
Выводы. В заключение статьи отмечаются изменения, происходящие в районе Бейоглу в последние годы, включая его превращение из жилого района в развлекательный центр. В целом, методология статьи включает исследование и анализ архитектурных особенностей и исторического контекста района Бейоглу.

Ключевые слова: общественный центр, население, исторические районы, Бейоглу, Истамбул, жилые районы, кварталы

Для цитирования: Йылмазсой Б.Э. Изучение архитектуры исторических районов Бейоглу в Стамбуле: Открытия исследования центральной части города // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.216-224, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_216, EDN: JPSTOH

Exploring the Architecture of Beyoghlu Historic Areas in Istanbul: Open Exploration of the Central City

B.E. Yilmazsoy [1]
[1]Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

Abstract: *Problem statement.* The article aims to analyze the architectural buildings that constitute the social center of the neighborhoods in the central district of Beyoghlu, Istanbul. The study focuses on eight districts, which are divided into three regions: northern, central, and southern. *The purpose of the work* is to analyze the architectural buildings and historical districts of Istanbul, specifically Jihangir, Dolapdere, Kasimpasha, and Tarlabashi, considering their significance and contribution to the formation of the city's social center. *The objectives of*

the study are to analyze the role of each studied area in shaping Istanbul's rich historical and cultural heritage, to investigate the changes and developments in these districts during the first decade of the 21st century and analyze their current state from architectural and social perspectives, to explore Istanbul's role as a tourist center and examine how these historical areas attract the attention and interest of travelers. *Results*. The study highlights the geographical location of the Beyoghlu district in Istanbul and its historical importance as the city's initial center. It focuses on various architectural elements, including theaters, public buildings, hotels, restaurants, squares, galleries, mosques, churches, and other religious structures that have played a significant role in shaping the community centers within the area.
Conclusions. The article concludes by noting the changes that have taken place in the Beyoghlu area in recent years, including its transformation from a residential area to an entertainment centre. In general, the methodology of the article includes research and analysis of architectural features and historical context of the Beyoghlu district.

Keywords: city center, population, historical districts, Beyoghlu, Istanbul, residential areas, quarters

For citation: Yilmazsoy B.E. Exploring the Architecture of Beyoghlu Historic Areas in Istanbul: Open Exploration of the Central City // News KSUAE, 2023, № 4(66), c.216-224, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_216, EDN: JPSTOH

1. Введение

Город Стамбул, богатый своими историческими и культурными достопримечательностями, привлекает внимание многих путешественников. Он известен своими разнообразными районами, каждый из которых имеет свою уникальную историю и атмосферу.

В районе Джихангир находится мечеть Джихангир, построенная в 1559 году, окруженная микрорайоном с местом для отдыха и начальной школой. В 1889 году в этом районе было построено деревянное сооружение, известное как «Джихангир», которое было реконструировано и обладает барочными карандашными работами внутри мечети. В районе Долапдере находится музей, расположенный в доме, где умер польский поэт Адам Мицкевич. Также здесь расположен Университет Билги Долапдере.

Касымпаша является одним из старейших поселений в Стамбуле и был преобразован в роскошное место, однако пожар в прошлом привел к его упадку. В настоящее время район Халич в Касымпаше прошел реконструкцию и развивается. Тарлабаши, населенный западными купцами и бюрократами, стал символом «современного» Стамбула. В статье также отмечается пожар 1870 года, оказавший влияние на будущее развитие этого района.

В данной статье мы предлагаем провести анализ архитектурных зданий, составляющих общественный центр кварталов в самом центральном районе Бейоглу в Стамбуле [1]. Этот район имеет особое историческое значение и включает в себя важные элементы, которые сформировали его как общественный центр [2].

Северный район Бейоглу, известный как Галата, играет ключевую роль в формировании общественного центра района. Его географическое положение в городе Стамбул является одной из важных характеристик [3]. Исторические владения в центральной части включают множество интересных аспектов, отражающих этапы его становления как первого центра [4,5]. В этой зоне можно отметить здания, такие как театры, гостиницы, рестораны, галереи, мечети, церкви и другие религиозные сооружения, которые сыграли важную роль в формировании общественных центров. Через важные исторические этапы развития района, включая развитие жилых домов, он продолжает сохранять свою функцию исторической среды даже в первое десятилетие XXI века.

Общая площадь района Бейоглу составляет 8,76 км², а общая численность населения составляет 244516 человек. Бейоглу подразделяется на восемь районов, каждый из которых можно рассматривать как небольшой микрорайон. Например, район

Охмейданы состоит из шести кварталов, район Галата - из десяти кварталов, район Таксим - из трех кварталов и так далее.

Исторически Бейоглу был в основном жилым районом, однако с развитием торговли он приобрел черты развлекательного центра.

Район **Джихангир** впервые упомянут в документах датированных 1561 годом. Он расположен в направлениях Салипазары, Фындыклы, Кабаташ с моря и Топхана, Таксим и Аязпаша с суши. Главной достопримечательностью этого района является мечеть Джихангир, построенная архитектором Синаном в 1559 году в честь принца Джахангира, сына Сулеймана Великолепного. Вокруг мечети формируется микрорайон с местами отдыха и начальной школой. Важным историческим фактом также является нахождение здесь шейха Хасана Бурханеддина Эфенди, основателя Джахангирского отделения секты Халвети.

Долапдере - еще один интересный район, связанный с районом Бейоглу в Стамбуле. Расположенный между Таксим, Пангалты, Куртулуш и Касымпаша, он привлекает внимание своим плотным населением и культурным разнообразием [6]. В последние годы профиль населения здесь изменился в результате внутренней миграции с востока [5]. Интересным историческим объектом в этом районе является дом, где умер польский поэт Адам Мицкевич во время эпидемии холеры. Сегодня этот дом является музеем, раскрывающим страницы истории.

Город Стамбул богат историческими районами, каждый из которых вносит свой уникальный вклад в богатое наследие города [7]. В этой статье мы обратим внимание на два таких района - Касымпашу и Тарлабаши, которые обладают богатой историей и являются частями удивительной мозаики стамбульской культуры [8].

Касымпаша – это одно из самых древних поселений в Стамбуле с глубокими корнями, уходящими в прошлое. Именно здесь, в Касымпаша, Фатих Султан Мехмет высадил свои корабли в Золотом Роге, что имело огромное значение в истории завоевания Стамбула. В то время этот район был населен генуэзцами, предками современных итальянских генуэзцев, что придавало ему особую атмосферу и значимость.

После завоевания Стамбула Касымпаша претерпела значительные изменения и стала одним из самых роскошных районов своего времени. Однако пожар Большого Касымпаша внес серьезные разрушения, полностью уничтожив этот район и приведя к его практическому запущению. Одной из основных причин утраты популярности Касымпаши стало загрязнение Золотого Рога, что привело к ухудшению условий проживания.

В начале XXI века район Халич, который включает в себя Касымпашу, начал активно развиваться и продолжает активно процветать по сей день. Здесь был построен стадион на 15 000 человек, спортивный комплекс, библиотека и бассейн, что сделало его одним из центров Касымпаши и важным элементом стамбульской архитектурной и социальной среды [9].

Районы **Тарлабаши** Сутлудже и Халыджиоглу являются частями исторического района Бейоглу в Стамбуле [10]. Каждый из этих районов имеет богатую и уникальную историю, связанную с развитием Стамбула в течение веков.

Первоначально район Пера занимал центральное положение в международной торговле и стал символом «современного» Стамбула после распада Османской империи для мировой капиталистической системы в XIX веке [11]. Южные склоны Перы стали местом проживания западных купцов, бюрократов и османских граждан, которые отвернулись от западного влияния. Главная улица Пера, Кадде-и-Кебир, стала центром жилья и торговли для иностранцев и высшего сословия османских немусульманских граждан [12]. В Пере сосредоточены посольства, международные отношения, а также множество зданий и сооружений, связанных с развлекательной и культурной жизнью. Однако переломным моментом, оказавшим значительное влияние на будущее Перы, стал пожар 1870 года, который полностью разрушил район. После пожара представители местной и иностранной элиты были переселены в новые здания, построенные на освободившихся от огня земельных участках. Это совпало с развитием Тарлабашского района в качестве жилой зоны. Одним из первых значимых зданий, возведенных в Тарлабаши, было английское посольство в 1596 году.

С начала XVIII века население Перы начало расти, и часть жителей переселилась в Тарлабаши, а затем в Долапдере. Со второй половины XIX века Тарлабаши развивался как жилой и коммерческий район, преимущественно принадлежащий меньшинствам, и его границы расширились в рамках планов, осуществленных после пожара. Тарлабаши был одним из районов Стамбула, где проводились первые градостроительные эксперименты. Почти все резиденции, построенные в то время, имели сады и были построены из простых кирпичей с простыми размерами и формами [13]. Здесь сохранилась подобная архитектурная традиция, но дома были более простыми по сравнению с Перой. Южные склоны, ведущие к входу в Перу через Босфор, и северные склоны, выходящие на Золотой Рог, демонстрировали пространственное разделение, в котором жили разные социальные классы [14].

Целью исследования является анализ архитектурных зданий и исторических районов Стамбула – Джихангир, Долапдере, Касымпаша и Тарлабаши – для определения их роли в формировании общественного центра кварталов в районе Бейоглу, исследование значимости этих районов в культурном и историческом контексте города.

Задачами исследования являются:

- Проведение документирования архитектурных объектов, представляющих каждый из районов. Описание и анализ их исторической и архитектурной ценности.
- Анализ роли каждого района, с особым вниманием к району Бейоглу, в развитии и формировании общественного центра Стамбула. Учитывая географическое положение и исторические моменты, определение их вклада в культурную и социальную жизнь города.
- Исследование исторических событий, таких как пожар в Касымпаше в 1870 году, и их влияние на развитие и упадок каждого района.
- Оценка значимости и состояния исторической архитектурной среды каждого района и ее роль в привлечении туристов и путешественников в Стамбул.
- Понимание изменений в населении и культурном разнообразии каждого района и анализ их влияния на современное состояние и развитие.
- Сравнение и контрастирование особенностей и исторических аспектов каждого района для выявления их уникальных черт и влияния на общественный центр Стамбула.
- Исследование роли Стамбула как туристического центра и анализ того, как исторические районы привлекают внимание и интерес путешественников.

2. Материалы и методы

Методология данной статьи основана на исследовании и анализе исторических фактов и событий, связанных с районами Бейоглу, Галата, Джихангир, Долапдере, Касымпаша, Тарлабаши и другими районами Стамбула. Для составления статьи были использованы различные источники информации, включая исторические документы, книги, путеводители и другие ресурсы, содержащие сведения об этих районах.

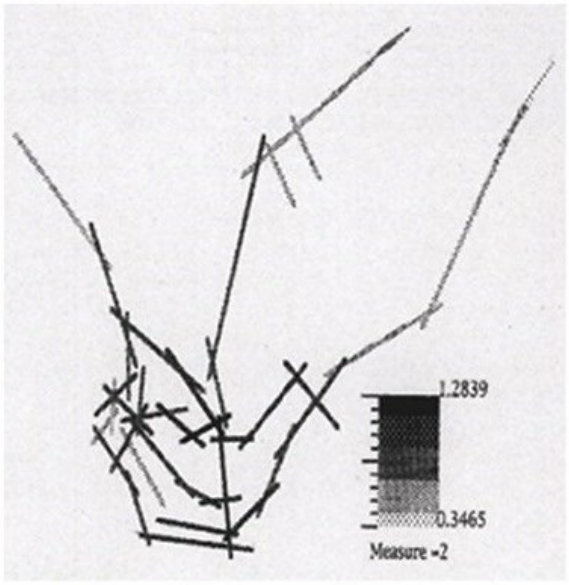
Методология заключается в анализе архитектурных зданий, которые составляют общественный центр кварталов в районе Бейоглу в Стамбуле. В анализе используется географическое разделение территории на три региона: северный, центральный и южный. Статья начинается с описания разделения района Бейоглу на восемь районов и указывает количество кварталов или микрорайонов, составляющих каждый из них. Затем проводится анализ исторической значимости района Бейоглу как общественного центра, особенно в районе Галаты. Описывается формирование этого района в качестве первого центра, и отмечается историческое значение различных общественных зданий, таких как театры, гостиницы, рестораны, мечети и церкви. Далее предоставляются общие сведения о площади района Бейоглу и численности населения. Статья анализирует две основные оси развития района. Первая ось связана с проспектом Истикляль и охватывает различные улицы и проспекты. Вторая ось простирается вокруг Галаты и Топханы и имеет линейную структуру. Обе оси отражают развитие города и его управление. Также дается описание нескольких архитектурных сооружений, характерных для района Бейоглу, включая акведуки в классическом османском стиле, артиллерийские казармы и другие здания [15]. В заключение статьи отмечаются изменения, происходящие в районе Бейоглу в последние годы, включая его превращение из жилого района в развлекательный

центр. В целом, методология статьи включает исследование и анализ архитектурных особенностей и исторического контекста района Бейоглу.

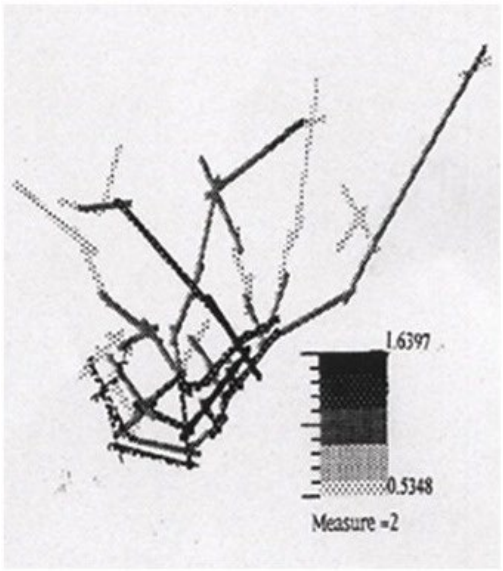
3. Результаты и анализ

Был проведен анализ архитектурных зданий, которые составляют общественный центр кварталов с конкретными специальными названиями в рамках 8 районов самого центрального района Бейоглу в Стамбуле. Мы условно делим эту территорию на 3 района: северный, центральный и южный [15].

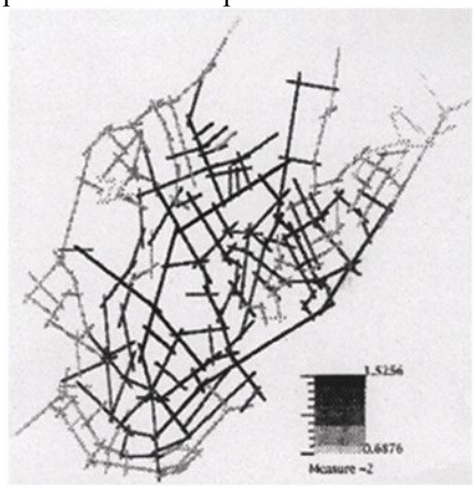
Галата. Один из ключевых аспектов формирования района Бейоглу в качестве общественного центра - его географическое расположение в Стамбуле. В этом центре содержатся важные исторические территориальные объекты, которые прослеживают исторические этапы его становления в качестве первого центра (рис. 1).



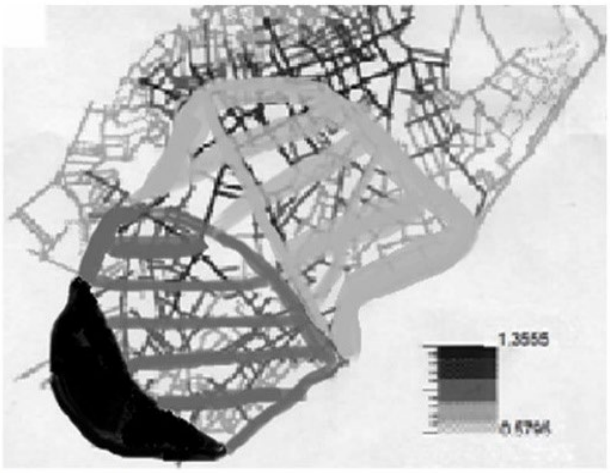
Карта интеграционных ценностей района Галата-Пера XVII века



Карта интеграции района Галата-Пера XVIII века



Карта интеграционных ценностей района Галата-Пера XIX века



Периодическое исследование Леке Галаты

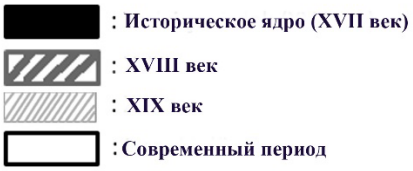


Рис. 1. Исторические этапы развития района Галаты (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Historical stages of Galata's development (illustration by the authors)

В данной зоне имеются элементы общественного центра, такие как театры, общественные здания, гостиницы и рестораны, площади и галереи, мечети, церкви и другие религиозные сооружения, которые являются ключевыми при формировании этого района. Важные моменты исторических этапов четко указывают на формирование этого района, включая появление жилых домов, особенно во второй половине XIX века. Хотя уже в первое десятилетие XXI века этот район демонстрирует свою способность сохранить свою историческую среду, а не превращаться в просто сеть общественных центров [16].

Общая площадь района Бейоглу составляет 8,76 км^2. Общая численность населения составляет 244 516 человек. Район Бейоглу разделен на 8 районов. Мы проанализировали эти районы как небольшой микрорайон.

1. Район площади Ох – состоит из 6 кварталов.
2. Район Галата - состоит из 10 микрорайонов.
3. Район Таксим - состоит из 3 кварталов.
4. Район Джихангир – состоит из 7 микрорайонов.
5. Район Долабдере – состоит из 6 микрорайонов.
6. Район Касымпаша - состоит из 8 кварталов.
7. Район Тарлабаша - состоит из 3 микрорайонов.
8. Район Судлудже - состоит из 2 микрорайонов.

Также известно, что в тот период Бейоглу оставался преимущественно жилым районом, однако параллельно с развитием торговли он приобретал черты развлекательного центра.

Транспортно-коммуникационная ось развития первого уровня: Протяженность оси проспекта Истикляль от туннеля до Таксима, включая направления: Фындыклы-Бешикташ, Галата-Каракёарасы, Богазкесен-Тарлабаши, проспекта Сираселвилер, проспекта Джумхуриет-парк Таксим, проспекта Сакизагаджи, проспекта Шишхане, Тепебаши, Асмалы Мечеть, вдоль дороги Кумбараджибаши, улицы Бююк Хендек, проспекта Войвода, проспекта Терсане (рис.2).

Рис. 2. Район Бейоглу на 8 территориях (иллюстрация авторов)
Fig. 2. Beyoglu district in 8 territories (illustration by the authors)

Транспортно-коммуникационная ось развития второго уровня: линейная ось, простирающаяся в окрестности Галаты и Топханы. Историческое ядро вместе со своей

линейной структурой отражает направление развития города. Чтобы сохранить центральное положение района с наивысшими показателями развития, центр тяжести смещается вместе с ростом города (Мелтем Гундогду, Хале Чирачи). Рассматривая топографию и исторический процесс развития, а также его управление, видно, что район образует подковообразную форму. Другими словами, это тип городской планировки, известный как «семерской» тип.

Таксим и его окрестности. Бейоглу, представляющий собой плотно населенное поселение, расположенное по обеим сторонам проспекта Истикляль, который является его главной осью, и здесь располагается просторное перспективное пространство. От этой площади Бейоглу распространяется назад, в западном направлении (Сирасельвилер) и восточном направлении, в сторону моря (Айаспаша-Гумюссую), а также на север (улица Мете и Эльмадаг). Это направляет людей и транспортные средства, прибывающие сюда, по проспектам, ведущим в разные направления. Это разделение стало заметным только в последнее время, но оно является важным и устойчивым общественным пространством для Стамбула [16].

Первым архитектурным сооружением является акведук в классическом османском стиле, который совершенно отличается от французских и левантийских влияний. В 1732-1733 годах здесь была завершена система каналов, весов и поясов Махмуда I, которая впервые приводила воду в город из густых лесов на севере. Накопленная вода распределялась в разные направления от каменного мексема (здание водораспределительного хранилища) в главном углу [17].

По исторической последовательности, вторым сооружением стали артиллерийские казармы, расположенные в начале Харбийской дороги. В настоящее время на зеленой зоне перед Культурным центром Ататюрка находится более простое здание, которое ранее было конюшней со внутренним двором в центре. Пространство перед казармами использовалось как учебный полигон. В конце 1920-х годов оно было застроено современными жилыми домами и получило название Талимхане.

Джахангир и окрестности. Название Джихангир впервые упоминается в тексте, датированном 1561 годом. Первым зданием в этом районе является мечеть Джихангир, построенная в 1559 году архитектором Синаном в честь принца Джахангира, сына Сулеймана Великолепного, который умер в возрасте 22 лет в Алеппо. Вокруг мечети был создан микрорайон с таккой (местом для отдыха) и школой сыбян (начальной школой). В первой половине XVII века здесь также находился шейх Хасан Бурханеддин Эфенди, основавший Джахангирское отделение секты Халвети, как упоминается в путевом дневнике Эвлии Челеби.

Деревянное сооружение, построенное в одном из самых просторных и красивых мест города, было возведено в 1889 году по указанию султана Абдулхамида II после двух пожаров. За его строительство отвечал Саркис Бальян, и оно приобрело свой сегодняшний вид. Особенно стоит отметить карандашные работы в стиле барокко внутри мечети, которая недавно прошла серьезную реконструкцию, а также вид с садовой террасы с макетом мечети, установленным на северной стене.

В XVII веке, с развитием Теккена, этот район приобрел значительную жизненную активность, и работы по реконструкции усилились. Эвлия Челеби описывает этот район в своей книге «История Стамбула»: «Обратите внимание на дома и строения, простирающиеся до холма Джихангир. К холму ведут 240 ступеней. Кануни построил мечеть в честь Джахангира и окружил ее комнатами того же названия, расположенными в круглой форме вокруг мечети...». С ростом населения этот район столкнулся с новыми угрозами.

Долапдере. Долапдере является одной из точек назначения, связанных с районом Бейоглу в Стамбуле. Этот район окружен со стороны Таксима, Пангалты, Куртулуша и Касымпаши и является одним из плотно заселенных районов среди людей с относительно низким уровнем доходов. В последние годы профиль населения изменился в результате внутренней миграции с востока. Дом, где умер польский поэт Адам Мицкевич во время эпидемии холеры, он жил в XIX веке и покинул свою страну, прибыв в Стамбул в 1855 году в поисках политического убежища, сегодня является музеем. В этом районе также расположено здание Университета Билги Долапдере.

Касымпаша. Это одно из старейших поселений в Стамбуле. Именно здесь Фатих Султан Мехмет высадил свои корабли в Золотом Роге. До завоевания Стамбула этот район был населен генуэзцами, предками современных итальянских генуэзцев. После завоевания район претерпел прогрессивные изменения и стал одним из самых роскошных мест своего времени. Однако пожар Большого Касымпаша полностью уничтожил этот район. С тех пор он был заброшен и практически утратил свою популярность из-за загрязнения Золотого Рога [14]. В начале XXI века район Халич был значительно благоустроен и продолжает развиваться. Здесь находится стадион на 15 000 человек, 1 спортивный комплекс, 1 библиотека и 1 бассейн.

Район **Сутлудже** является одним из районов провинции Бейоглу в Стамбуле. На юге он граничит с районом Халыджиоглу, на севере и западе омывается Халичем, а на востоке соседствует с районом Орнктепе. В районе Сутлудже проживает 12 539 человек. Важным местом в квартале Сутлудже является мечеть Бадемлик. Строительство мечети, расположенной на улице Талип-паша Джамий Сокак в районе Сутлудже, было начато в 1955 году «Представительским советом мечети», принадлежащим Ассоциации памятников Турции. Она была открыта для поклонения в 1964 году. В 1997 году Фонд науки и обслуживания Бадемлик начал строительство новой мечети, которое было завершено в 2003 году, чтобы удовлетворить потребности общества.

В статье также предоставлены данные о площади и населении района Бейоглу. Отмечается, что район Бейоглу был преимущественно жилым районом, но параллельно с развитием торговли начал приобретать черты развлекательного центра. В статье обращено внимание на значимые архитектурные сооружения в районе, такие как акведук в классическом османском стиле и артиллерийские казармы, а также описывается их историческое значение и использование в настоящее время.

4. Заключение

В данной статье мы провели анализ архитектурных зданий и исторических районов в самом центральном районе Бейоглу в Стамбуле, а именно районов Джихангир, Долапдере, Касымпаша и Тарлабаши. Каждый из этих районов имеет свою богатую и уникальную историю, которая способствовала формированию общественных центров и привлекательности этих районов для жителей и туристов.

В районе Джихангир мы обнаружили мечеть Джихангир, построенную в 1559 году архитектором Синаном, а также микрорайон с местами для отдыха и начальной школой. Также важным аспектом этого района является связь с исторической фигурой шейха Хасана Бурханеддина Эфенди.

Район Долапдере привлекает внимание своим плотным населением и культурным разнообразием. Здесь находится дом, где умер польский поэт Адам Мицкевич, который сегодня является музеем, хранящим исторические страницы.

Касымпаша, одно из самых древних поселений в Стамбуле, имеет глубокие корни и связано с историей завоевания города. В прошлом это был роскошный район, однако пожар в Большой Касымпаше привел к его упадку. В настоящее время район Халич, который включает Касымпашу, прошел активную реконструкцию и продолжает развиваться, становясь важным элементом стамбульской архитектурной и социальной среды.

Тарлабаши, связанный с историческим районом Бейоглу, является символом Стамбула. Каждый из этих районов вносит свой уникальный вклад в общее богатство исторического и культурного наследия города.

Обобщая результаты исследования, мы подтверждаем, что районы Джихангир, Долапдере, Касымпаша и Тарлабаши имеют значимое историческое значение и играют ключевую роль в формировании общественных центров в Стамбуле. Архитектурные здания и сооружения в этих районах отражают разнообразие и многовековую историю города, делая их интересными для исследования и привлекательными для туристов и жителей. Дальнейшие исследования и усилия по сохранению и восстановлению исторических объектов в этих районах позволят сохранить и передать будущим поколениям уникальное наследие и культурное богатство Стамбула.

Список литературы/References

1. Emiralioglu B. Investigation of Beyoglu District in terms of Transportation and Traffic-Suggestions : Master's thesis. B.Emiralioglu, 2005.133 p.
2. Yetiskul E., Kayasu S., Ozdemir S. Local responses to urban redevelopment projects: The case of Beyoğlu, Istanbul // Habitat International. 2016. Vol. 51. P.159-167
3. Kartal A.N. Sensewalking on Istiklal Street, Istanbul: Exploring Sensory Urban Changes // Urbanities. 2021. Vol. 11. P. 65-78.
4. Hacioglu E. Evaluation of the Effects of Legal Regulations on Architectural Design in the Historic Environment (Istanbul Historical Peninsula Example) : Master's thesis. 2010. 627 p.
5. Han N. Socio-Spatial Segregation in Beyoglu Historical Housing Area : Master's thesis. 2002. 111 p.
6. Erbey D. Changing Cities and Changing Memories: The Case of Taksim Square, Istanbul // International Journal of Culture and History. 2017. Vol.3(4). P.203-212. doi: 10.18178/ijch.2017.3.4.101
7. Abdul-Karim R. Sheriyye Registers and Their Importance in terms of Socio-Economic and Urban Studies in Ottoman Syria // Journal of Foundations. 2010. Vol. 33. P. 141-144.
8. Bash A., Pakoz M.Z., Eren F. An Analysis of the Changing Role of Istanbul as a Megacity in the World: 55th ISOCARP International Conference. Jakarta-Indonesia, 2019. P.1-15.
9. Verdiani G., Arslan P., Cicek E. Urban transformation and evolution of the Beyoglu waterfront in Istanbul: VII Convegno Internazionale ReUSO International Conference. 2019. Matera, Italy. P.1215-1226.
10. Maessen E. Reading Landscape in Beyoglu and Tarlabasi: Engineering a 'Brand New' Cosmopolitan Space, 1980–2013 // International Journal for History, Culture and Modernity. 2017. Vol. 5(1). P.47-67
11. Pabuchu M. Military hospitals in the Ottoman Empire (1876-1908) // Capadocia journal of history and social sciences. 2014. Vol. 3. p. 85-100.
12. Gul M. Architecture and the Turkish City. An Urban History of Istanbul since the Ottomans. London: I.B. Tauris. 2017. 336 p.
13. Stepanchuk A., Salyakhova M., Salyakhova V. Preserving identity while reorganizing urban spaces: E3S Web of conferences, 2021. 01017 p.
14. Tandogan I. Changes in function and texture from the Byzantine period to the present on the shores of the Golden Horn: Master's thesis. 2018. 126 p.
15. Ozkan M. Transformation of the Arcades in Beyoglu: Phd dissertation. 2008. 136 p.
16. Dundar, B. The Effect of Reconstruction on the Historical Peninsula of Istanbul : Master's thesis. Istanbul, 2001. 214 p.
17. Theunissen H. Dutch Tiles of the Ottoman Empire // Kebikech Journal of Resources and Research for Human Sciences. 2008. Vol. 25. P. 357-384.

Информация об авторах

Бурак Каан Йылмазсой Эрджан, докторант, Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет, г.Баку, Азербайджан
E-mail: burak.yilmazsoy@gmail.com

Information about the authors

Burak Kaan Yilmazsoy Erjan, phd, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan
E-mail: burak.yilmazsoy@gmail.com

УДК: 721.01
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_225
EDN: JVYQOT

Пространственный код проектного процесса и архитектурных решений

И.Ф. Сайфуллин[1], А.Р.Сабирзянова[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Формообразующий пространственный код архитектурных решений – возможность интеграции художественных концепций, картины мира, архитектора, жителей города и других участников проектного процесса. Применение пространственного кода универсально вне зависимости от архитектурного стиля, типологии объекта, творческого метода автора, профильного или концептуального проектировщика. Понимание, где мы находимся и какую роль представляем, открывает свободу творчества и зрелость принимаемых решений. Объектом проектного поиска выступает пространство. Материальные элементы являются границами, формирующими это пространство. Все что находится и все что происходит между ними и является предметом проектного поиска. Статья посвящена разработке единого пространственного кода при создании архитектурных и других объектов. Под объектом понимается архитектурное пространство.
Целью исследования является разработка универсального пространственного кода по созданию архитектурных объектов, позволяющих сохранить свою культурную традицию с учетом идентичности и тенденций современного развития общества.
В исследовании поставлены следующие *задачи:* изучение способов формирования архитектурного объекта; выделение его основных элементов; выявление границ возможного применения универсального пространственного кода в проектном процессе.
Методы исследования: систематизации, обобщения информации из литературных источников, графический метод представления информации.
Основные результаты исследования состоят в том, что выявлена взаимосвязь формообразующих элементов в процессе создания архитектурного объекта как пространства. В ходе исследования выявлено формирование архитектурного объекта в его повествовательном временном континууме. Выработан единый механизм создания архитектурных объектов. Выделены ключевые элементы архитектурного объекта. Обозначен подход в связке «часть - целое».
Выводы. Полученные результаты предлагают универсальную и простую модель создания архитектурного объекта - пространства.

Ключевые слова: актуальные смыслы, социум, автор архитектурного объекта, проектный процесс, объект проектирования, пространственный код

Для цитирования: Сайфуллин И.Ф., Сабирзянова А.Р. Пространственный код проектного процесса и архитектурных решений // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 225-232, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_225, EDN: JVYQOT

Spatial code of the design process and architectural solutions

I.F. Saifullin[1], A.R.Sabirzyanova[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* The formative spatial code of architectural solutions is the possibility of integrating artistic concepts, the worldview, the architect, city residents and other participants in the design process. The use of spatial code is universal regardless of the architectural style, the typology of the object, the creative method of the author, profile or conceptual designer. The awareness of where we are and what role we represent opens up the freedom of creativity and maturity of decisions. The object of the project search is space. The material elements are the boundaries that form this space. Everything that is and everything that happens between them is the subject of a project search. The article is devoted to the development of a single spatial code when creating architectural and other objects. An object is an architectural space.
The aim of the research is to develop a universal spatial code for the creation of architectural objects that allow preserving their cultural tradition, taking into account the identity and trends of modern development of society.
The following *tasks* are set in the study*:* to study the ways of forming an architectural object; to identify its main elements; to identify the boundaries of the possible application of a universal spatial code in the design process.
Research methods: systematization, generalization of information from literary sources, graphical method of presenting information.
The main results of the study represent that we found out the interrelation of formative elements in the process of creating an architectural object as a space. The study revealed the formation of an architectural object in its narrative time continuum. A single mechanism for creating architectural objects has been developed. The key elements of the architectural object are highlighted. The "part-whole" approach is indicated.
Conclusions. The results obtained offer a universal and simple model for creating an architectural object, i.e. space.

Keywords: actual meanings, society, author of an architectural object, design process, design object, spatial code

For citation: Saifullin I.F., Sabirzyanova A.R. Spatial code of the design process and architectural solutions // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 225-232, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_225, EDN: JVYQOT

1. Введение

Развитие современной архитектуры происходит под влиянием авторских концепций, содержащих в себе целостный взгляд на мир, методы и принципы создания идентичного авторского творения, способного вдохновить людей на духовное развитие. Это тем более важно, потому что мозг человека пластичен и может изменяться под влиянием внешней архитектурной среды [1].

Архитектурная деятельность происходит под воздействием двух позиций: персонализация и наполнение индивидуальными смыслами, а также модерирование коллективных потребностей участников проектной деятельности [2]. Современные цифровые технологии позволяют создать единое пространство коллективного повествования для сотворчества в виртуальном мире [3]. В текущий момент становится важным новый субъект в архитектуре – человек, работающий в виртуальном пространстве [4]. Средства визуального программирования позволяют создавать неповторимые орнаменты на базе существующих декоративных элементов [5]. При этом современная цифровая среда приводит к трансформации формирования границ идентичности, к созданию единой цифровой публичной идентичности [6]. Одновременно

с цифровизацией в последние десятилетия XXI века развивается идея междисциплинарных концептов применительно к архитектурной деятельности [7]. Например, приемы художественного оформления театральных спектаклей могут найти возможности использования и для создания архитектурной среды города [8].

Философские и культурологические концепции, как современности, так и ушедших в прошлое эпох, привели к формированию понятия эко-эстетики в архитектуре. Это синтез экологии, философии, этики, учитывающий тенденции необходимости устойчивого развития человечества [9]. Архитектура способна показать нам круговорот воды в природе как круговорот земной жизни человека, найти природные источники ритмичности архитектурных построек [10,11]. Аналогии органического и неорганического мира нашли свое отражение в зданиях и сооружениях архитекторов, к примеру, черты геонической архитектуры позаимствованы из кристаллографии [12]. Новые тенденции общественной жизни постепенно приводят к новой архитектурно-градостроительной парадигме среды, к уменьшению вместимости общественных зданий и замене их рекреационными зонами [13].

Переосмысление своего места в жизни, поиск новых решений раз за разом приводят архитекторов к изучению опыта ушедших поколений, к изучению национальных особенностей, к истокам идентичности [14-17].

Еще одно направление исследований связано с поисками формообразующего кода, общей схемы преобразования в современной культурной традиции, с разработкой универсального языка пространственных отношений [18-20].

Целью исследования является разработка универсального пространственного кода по созданию архитектурных и неархитектурных объектов, позволяющих сохранить свою культурную традицию с учетом идентичности и тенденций современного развития общества.

Для достижения цели ставятся следующие *задачи:* изучение способов формирования архитектурного объекта; выделение его основных структурных элементов; выявление границ возможного применения универсального пространственного кода в проектном процессе.

2. Материалы и методы

Методология исследования включает метод систематизации, обобщения информации из литературных источников по проблемам культурологической идентичности и архитектурной деятельности в рамке «человек – архитектурное пространство». В том числе графический метод представления информации в виде схем и зарисовок.

3. Результаты и обсуждение

Формирование архитектурного объекта во все времена происходит под влиянием многочисленных факторов. Основным фактором конца XX века является технологический, появление «информационного» общества, которое изменило всю систему общения, повлияло на способы построения архитектурного пространства. Тем не менее, через эпохи и смены цивилизаций формирование архитектурных объектов происходит под воздействием следующих основных элементов: культура, социум, автор, пространственный результат, среда-известность, среда-неизвестность, код.

Культура – во всем ее разнообразии, как картина мира отдельного субъекта, так и всех народов земного шара в целом. Картина мира наполняется самой формой существования человечества на той или иной стадии развития, охватывает мир единичного субъекта или большой или малой группы. Например, в Древней Греции ожидания и опасения человека были связаны с природными явлениями, преодоление страха перед грозой вылилось в поклонение перед Богом-громовержцем, для которого строились античные храмы [21].

Социум – социальная среда, в которой создается архитектура и социальная группа для кого создается архитектурное пространство [22]. Это люди, непосредственно участвующие в этом процессе. Можно выделить следующие категории: заказчики,

потребители разного уровня, эксплуатирующие организации, маркетологи, администрация, девелоперы, производители и др.

Автор – архитектор-художник, архитектор-поэт, архитектор-проектировщик, архитектор-режиссер, архитектор-урбанист и др. – личность, впитывающая актуальные смыслы и работающая во взаимодействии с социумом. Человек, который имеет волю творца на создание интеллектуального, физического и др. объекта.

Пространственный результат – архитектурный объект во всем его многообразии - пространство в целом или его части, поэма, музыкальное произведение, сценическая постановка, малая архитектурная форма, здание, общественное пространство, фильм и т.д. Пространственный результат может быть считан как снаружи, когда восприятие происходит извне, так и изнутри, при восприятии объекта изнутри. Так улица может восприниматься как внешнее пространство, так и как внутреннее пространство. При этом воспринимающий субъект всегда находится внутри пространственного результата.

Среда-известность – географически – временной континуум. Естественно-природный ландшафт и его особенности: горы, равнины, реки, моря, флора и фауна во всем многообразии и др. Климатические особенности, часовые пояса и др. Человеческая жизнь происходит в определенный исторический период, в котором и происходит деятельность отдельного человека или группы людей.

Среда-неизвестность – все, что находится за пределами человеческих органов восприятия - зрения, слуха, осязания и т.п., несмотря на то, что находится это в изученной или неизученной области знаний. Мир человека, очевидно, отличается от мира летучей мыши. И от того, что слуховой аппарат человека не воспринимает ультразвук, он существует и, так или иначе, влияет напрямую или косвенно на благополучие человека.

Пространственный код – общий знаменатель для коммуникации всех рассмотренных выше элементов. Это знак, который понятен всем и позволяет объединить людей, вдохновить их на созидание, творческое развитие, поможет каждому найти в архитектурном пространстве свои смыслы и наполниться красотой, обрести ясность.

В общем виде взаимодействие этих элементов можно представить в виде схемы (рис.1).

Рис.1. Взаимосвязь элементов в процессе создания архитектурного объекта (иллюстрация авторов)
Fig.1. The relationship of elements in the process of creating an art object (illustration by the authors)

В этой общей схеме существуют тематические треугольники взаимодействия. Например, треугольник «код – социум – пространственный результат» показывает, как

язык архитектурной мысли превращается в речь. Архитектура обретает целесообразность. Треугольник «код – автор – пространственный результат» – инструментарий того, как произведение наполняется смыслами. Взаимодействие «код – культура – пространственный результат» показывает на сколько язык актуален в этом социуме, как вырабатывается общее основание для прочитывания. Например, в Древней Греции ионический ордер олицетворял девушку, дорический ордер – юношу, а коринфский ордер – даму. Связь «код – культура – социум» о том, как формируется способ перевода содержания в доступные для восприятия формы. Данное взаимодействие – о том, каким образом происходит коммуникация внутри культур, как социум становится законодателем общественных установок. Здесь рассматривается проблема масштаба, ювелирного художественного перевода, как код становится аккумулятором концептов, закладываемых в архитектурное произведение.

Данная модель позволяет понять, каким образом, общественные интересы переводятся в актуальную пропаганду и транслируются через архитектуру. Взаимодействие рассмотренных компонентов между собой порождает флуктуации в цивилизации: выработка канонов, форм поведения, жанров искусства. Когда пространство обязывает вести себя, сообразно себе. С точки зрения комфорта и благополучия, пространство начинает оказывать непосредственное воздействие, позитивное или негативное, на пользователя.

Стоит отметить, что схема кода рассмотрена в увязке с ключевой фигурой: человек (рис. 2). В рамках проектного процесса пространственный код может сочетаться в увязке с фауной при проектировании, например, зоопарка. Или в увязке с флорой при проектировании, например, ботанического сада. Или в увязке с предметом, например, картиной при проектировании музея.

Рис.2. Привязка кода к объекту проектирования и их объединение в зависимости от целей и задач проектирования (иллюстрация авторов)
Fig.2. Linking the code to the design object and combining them depending on the goals and objectives of the design (illustration by the authors)

В процессе формируется категория пространственности, описывающая объемность восприятия архитектурного объекта. Поле пространственности, как категория может и, чаще всего, остается в невербальном восприятии. Априорное и апостериорное пространство взаимоувязаны в восприятии человеком и осмысляются в процессе учебной и проектной деятельности.

Таким образом, объектом искусства должна стать мизансцена, как результат пространственной деятельности. Она формирует целостную картину, включая все рассмотренные выше элементы, создает комфорт архитектурной среды.

Одним из примеров символически наполненного объекта является мечеть Кул-Шариф. Ее строительство провозгласило возрождение татарской нации, возвращение к истокам, к своей идентичности. В основе архитектурной схемы пространства был заложен знак, создающий сакральность данной территории (рис.3.).

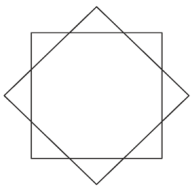


Рис.3. Знак, заложенный в основу плана мечети Кул-Шариф (иллюстрация авторов)
Fig.3. The sign laid down in the basis of the plan of the Kul-Sharif mosque
(illustration by the authors)

В развитии наполнения смыслами были подняты арки. План расцвел в объеме. В данном случае арка – это арка (перевод с татарского спина) – символизирует трудовой народ, его спину.

4. Заключение

Выполненное исследование универсального пространственного кода показывает, как происходит формирование архитектурного объекта в его повествовательном временном континууме.

1. В работе показаны связи между взаимодействующими элементами и выработан единый механизм создания архитектурных объектов, способных вдохновлять людей и давать им ощущение комфорта и полноты бытия.

2. Выделены следующие главные элементы архитектурного объекта и пространства: культура, социум, автор, пространственный результат, код.

3. Данная концепция позволяет подходить к проектному процессу и к конечному результату в связке «часть – целое». Когда объект, являясь целостным, в силу своей сложности имеет целостные части в любом своем разделе, проектном слое и охвате проектного процесса. При этом объект остается значительно большим по сравнению с суммой его частей.

Теоретическая значимость исследования заключается в создании единой схемы взаимодействия основных элементов, формирующих архитектурный объект. Практическое значение заключается в возможности создания архитектурного объекта и пространства при глубоком изучении взаимодействия основных рассмотренных в работе факторов.

Список литературы / References

1. Добрицына И.А., Коптева Т. В. Нейронаука как методологическая 10 трансгрессия в пространство архитектурного мышления // Архитектура и строительство России. – 2021. – № 1(237). – С. 10-15 [Dobritsyna I. A., Kopteva T. V. Neuroscience as a methodological 10 transgression into the space of architectural thinking // Architecture and Construction of Russia. – 2021. – № 1(237). – P. 10-15]. – EDN QUEUNY.
2. Явейн О.И., Янковская Ю. С. Современная архитектура как индивидуальное порождение и коллективное действие // Архитектура и строительство России. – 2019. – № 4(232). – С. 52-59 [Yavein O. I., Yankovskaya Y. S. Modern architecture as an individual creation and collective action // Architectureand Construction of Russia. – 2019. – № 4(232). – P. 52-59]. – EDN CRKFOH.
3. Lisenkova A.A. Digital Storytelling and Micro-narratives — New Forms of Representation of Personal Experience and Collective Creativity Slovo.ru: Baltic Accent this link is disabled, 2021, 12(2), pp. 45–52
4. Павлов Н.Л. Новый субъект в построении современного архитектурного пространства // Архитектура и современные информационные технологии. – 2021.

– № 2(55). – С. 9-16 [Pavlov N. L. A new subject in the construction of a modern architectural space // Architecture and modern information technologies. – 2021. – № 2(55). – P. 9-16]. – DOI 10.24412/1998-4839-2021-2-9-16. – EDN ABUADP.

5. 5.Parametric methods for constructing the Islamic ornament / N. Nadyrshine, A. F. Nadyrshine, R. Khafizov [et al.] // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 April, 2021. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 9009. – DOI 10.1051/e3sconf/202127409009. – EDN ZPSWSP.
6. Lisenkova A.A. Transformation of identity in the digital age Voprosy Filosofii this link is disabled, 2020, 2020(3), P. 65–74
7. Явейн О.И., Янковская Ю. С. Междисциплинарные концепты как инструментарий архитектурного проектирования // Архитектура и строительство России. – 2021. – № 1(237). – С. 88-95 [Yaveyn O. I., Yankovskaya Y. S. Interdisciplinary concepts as an architectural design tool// Architecture and construction of Russia. – 2021. – № 1(237). – P. 88-95]. – EDN CSUIOJ.
8. Власов В. Г. Архитектура как изобразительное искусство. Теория открытой формы, принцип партиципации и синоптический метод в искусствознании// Архитектон: известия вузов. – 2018. – № 1(61). – С. 1 [Vlasov V. G. Architecture as a fine art. The theory of open form, the principle of participation and the synoptic method in art history// Architecton: news of universities. – 2018. – № 1(61). – P. 1] – EDN YUOPXQ.
9. Парусимова Я.В. Биоэстетика как область философского знания // Вестник развития науки и образования. – 2019. – № 3. – С. 77-85 [Parusimova, Ya. V. Bioesthetics as a field of philosophical knowledge // Bulletin of the Development of Science and Education. – 2019. – No. 3. – P. 77-85]. – EDN ZDDFAL.
10. Павлов Н.Л. Представление круговорота воды и круга земной жизни в архитектуре античного храма // Архитектура и современные информационные технологии. – 2019. – № 4(49). – С. 18-27 [Pavlov N. L. Representation of the water cycle and the circle of earthly life in the architecture of the ancient temple // Architecture and modern information technologies. – 2019. – № 4(49). – P. 18-27]. – DOI 10.24411/1998-4839-2019-00002. – EDN GAYQXX.MPH.
11. Павлов Н.Л. Числовые ряды. Природные истоки ритмических построений в традиционной архитектуре // Архитектура и современные информационные технологии. – 2017. – № 4(41). – С. 68-87 [Pavlov N. L. Numerical series. Natural origins of rhythmic constructions in traditional architecture // Architecture and modern information technologies. – 2017. – № 4(41). – P. 68-87]. – EDN ZSGJSN.
12. Касьянов Н. В. К проблеме эволюции пространственных форм архитектуры в контексте научно-технологических достижений// Academia. Архитектура и строительство. – 2019. – № 3. – С. 34-43 [Kasyanov N. V. On the problem of the evolution of spatial forms of architecture in the context of scientific and technological achievements// Academia. Architecture and construction. – 2019. – No. 3. – P. 34-43]. – DOI 10.22337/2077-9038-2019-3-34-43. – EDN JHOFMY.
13. Aidarova G., Aminov A. COVID-19 - global transition to a new architecture and urban development paradigm of the environment ?// E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 April, 2021. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 1008. – DOI 10.1051/e3sconf/202127401008. – EDN JRNAMD.
14. Mikhailova A., Mikhailov S, Ibragimova A., Belov M., Khousnutdinova L. National and international components in contemporary architecture and design // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021): 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 April, 2021. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 1003. – DOI 10.1051/e3sconf/202127401003. – EDN CLBTLD.
15. Rachkova O., Khabibulina A. The identity of architectural and lighting solutions of stone mosques of the late XVIII - early XX centuries in Kazan // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 April, 2021. Vol.

274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 1020. – DOI 10.1051/e3sconf/202127401020. – EDN LOSLAC.
16. Степанчук А.В., Гафурова С.В., Латыпова М.С. "Дух места" как импульс ревитализации территории Адмиралтейской слободы города Казани// Архитектон: известия вузов. – 2020. – № 4(72). – С. 6 [Stepanchuk A.V., Gafurova S. V., Latypova M. S. "The spirit of the place" as an impulse to revitalize the territory of the Admiralty settlement of Kazan// Architecton: news of universities. – 2020. – № 4(72). – P. 6]. – DOI 10.47055/1990-4126-2020-4(72)-6. – EDN FZYGCZ.
17. Ахунова Д.Р., Короткова С.Г., Москалев А.Н., Сабирзянова А.Р. Особенности архитектурной реновации территорий дачных сообществ в условиях развития городской агломерации // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 3(56). С. 140–152. [Akhunova D.R., Korotkova S.G., Moskalev A.N., Sabirzyanova A.R. Features of architectural renovation of the territories of suburban communities in the conditions of urban agglomeration development // Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2023. No. 3(56). P. 140-152.] - DOI: https://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/140-152
18. Zakirova, Yu.,Latypova M., Gafurova S. The concept of creating a form-based code of Zelenodolsk // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 April, 2021. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 1021. – DOI 10.1051/e3sconf/202127401021. – EDN MGDFTD.
19. Павлов Н. Л. Схема преобразования в современной науке и в мировой культурной традиции //. – 2020. – Т. 1. – С. 341-345 [Pavlov N. L. Scheme of transformation in modern science and in the world cultural tradition //. – 2020. – Vol. 1. – P. 341-345]. – EDN QHTSZL.
20. Явейн О. И., Янковская Ю. С. Архитектура как поиск истоков пространственности (к 100-летию ВХУТЕМАСа) // Архитектура и строительство России. – 2020. – № 3(235). – С. 22-27 [Yavein O. I., Yankovskaya Y. S. Architecture as a search for the origins of spatiality (to the 100th anniversary of VKhUTEMAS) // Architecture and Construction of Russia. – 2020. – № 3(235). – P. 22-27]. – EDN USAJGS.
21. Pascal Richet. The Creation of the world and the birth of chronolog// C. R. Geoscience 349 (2017) 226–232, http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2017.08.001
22. Jiang Chang, Zihan Lin, Igor Vojnovic, Jiaguo Qi, Rong Wu , DixiangXie f. Social environments still matter: The role of physical and social environments in place attachment in a transitional city, Guangzhou, China// Landscape and Urban Planning 232 (2023) 104680, https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104680

Информация об авторах

Сайфуллин Искандэр Фуадович, старший преподаватель, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: iskanderalser@mail.ru
Сабирзанова Алсу Разыховна, главный архитектор проекта ООО «БАГАТА», г. Казань, Российская Федерация
E-mail: arskazan@gmail.com

Information about the authors

Iskander F. Saifullin, senior lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.
E-mail: iskanderalser@mail.ru
Alsu R. Sabirzyanova, chief architect of the project, LLC «BAGATA», Kazan, Russian Federation
E-mail: arskazan@gmail.com

УДК: 691.33
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_233
EDN: NGAEYB

Оценка влияния технологических факторов на свойства строительной керамики на основе золошлаковых смесей ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго»

С.В. Макаренко[1], А.Б. Гонжитов[1], О.В. Хохряков[2], В.Г. Хозин[2]
[1] Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия Федерация
[2] Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Общее накопление отходов золошлаковых смесей сегодня в Российской Федерации достигает порядка 1,5 миллиардов тонн. При этом утилизируется или применяется в различных отраслях промышленности всего 1,5-2,1 миллионов тонн годовых выбросов. Очевидно, что в ближайшие годы возникнет опасность масштабного загрязнения окружающей среды, переполнения золошлакоотвалов, ограничения мощности угольных генераций и, вероятно, вывода их из энергетического баланса. В связи с этим целью работы явилась оценка эффективности золошлаковых смесей теплоэлектроцентралей для производства изделий строительной керамики. К задачам исследования относятся изучение свойств этих смесей и установление влияния технологических факторов на прочность образца-сырца зольной керамики в процессе сушки при традиционном способе производства методом полусухого прессования.
Результаты. С помощью регрессионного анализа получены математические уравнения сырцовой прочности образцов на основе золошлаковых смесей как до, так и после сушки в зависимости от таких технологических факторов, как давление прессования, формовочная влажность и удельная поверхность. Представлены результаты определения основных физико-механических показателей образцов зольной керамики после обжига: плотность, прочность при сжатии и водопоглощение.
Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в разработке составов строительной керамики на основе таких крупнотоннажных отходов, как золошлаковые смеси без изменения способа её изготовления методом полусухого прессования. По технологическим и физико-механическим показателям они удовлетворяют современным нормативным документам и могут быть рекомендованы для широкого применения в производстве керамических изделий строительного назначения.

Ключевые слова: золошлаковые смеси, строительная керамика, полусухое прессование, сырцовая прочность, регрессионный анализ

Для цитирования: Макаренко С.В., Гонжитов А.Б., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Оценка влияния технологических факторов на свойства строительной керамики на основе золошлаковых смесей ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго» // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 233-240, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_233, EDN: NGAEYB

Assessment of the influence of technological factors on the properties of building ceramics based on ash and slag mixtures at the thermal power plant of «Irkutskenergo»

S.V. Makarenko[1], A.B. Gonzhitov[1], O.V. Khokhryakov[2], V.G. Khozin[2]
[1] Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation
[2] Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. The total accumulation of waste ash and slag mixtures today in the Russian Federation reaches about 1,5 billion tons. At the same time, only 1,5-2,1 million tons of annual emissions are recycled or used in various industries. It is obvious that in the coming years there will be a danger of large-scale environmental pollution, overfilling of ash and slag dumps, limiting the capacity of coal-fired generation and, probably, their removal from the energy balance. In this regard, the purpose of the work was to assess the effectiveness of ash and slag mixtures from thermal power plants for the production of building ceramics products. The objectives of the research include studying the properties of these mixtures and establishing the influence of technological factors on the strength of a raw ash ceramic sample during the drying process using the traditional production method of semi-dry pressing.
Results. Using regression analysis, mathematical equations were obtained for the raw strength of samples based on ash and slag mixtures both before and after drying, depending on such technological factors as pressing pressure, molding humidity and specific surface area. The results of the main physical and mechanical parameters of ash ceramic samples after firing are presented: density, compressive strength and water absorption.
Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the development of construction ceramic compositions based on such large-scale waste as ash and slag mixtures without changing the method of its production by semi-dry pressing. In terms of technological and physical-mechanical indicators, they meet modern regulatory documents and can be recommended for wide use in the production of ceramic products for construction purposes.

Keywords: ash and slag mixtures, building ceramics, semi-dry pressing, raw strength, regression analysis

For citation: Makarenko S. V., Gonzhitov A. B., Khokhryakov O. V., Khozin V. G. Assessment of the influence of technological factors on the properties of building ceramics based on ash and slag mixtures at the thermal power plant of «Irkutskenergo» // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 233-240, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_233, EDN: NGAEYB

1. Введение

На сегодняшний день утилизация твердотопливных отходов, таких как золошлаковые смеси (ЗШС), является весьма приоритетной задачей, как для Иркутской области [1], так и для многих регионов РФ в целом [2-3]. Она согласуется с национальной концепцией защиты окружающей среды, отраженной в законодательных документах, принятых государственными органами различного уровня и отраслевой принадлежности:

1. Постановление правительства Российской Федерации № 1557-р от 15.06.2022 г., в котором указывается необходимость сокращения накопленных отходов от сжигания твердого топлива к 2035 году в два раза;

2. Стратегия развития промышленности строительных материалов Российской Федерации и Иркутской области, в том числе, изложенной в распоряжение Правительства РФ № 868-р от 10.05.2016 г. В нём предусматривается расширение способов утилизации техногенных отходов;

3. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, отраженная в указе Президента РФ от 01.12.2016 № 642 (ред. от 15.03.2021). Одним из приоритетных вызовов является влияние антропогенных нагрузок, угрожающих истощению природных ресурсов.

Принятые документы разработаны неслучайно, поскольку сегодня на территории Российской Федерации функционируют 172 ТЭЦ на твердом топливе, в результате сжигания которого накоплено свыше 1,5 млрд. т отходов золы и шлаков [4-7]. В одной только Иркутской области их количество превысило 90 млн. т. По данным ЗАО «АПБЭ» площадь золошлакоотвалов достигает 28 тыс. га. При этом доля утилизируемых отходов по отношению к ежегодным выбросам не превышает 10 %.

Очевидно, что прогнозируемый объем снижения твердотопливных отходов совершенно нереален, на что указывает ряд факторов. Во-первых [8], большинство функционирующих ТЭЦ имеют высокий объем мощностей по выработке тепловой энергии. Количество угольных бассейнов в РФ общим объемом около 400 млрд. т составляет 22, а ежегодная добыча ископаемого топлива не превышает 202 млн.т. Во-вторых, перевод ТЭЦ на альтернативный вид топлива, например природный газ, зачастую экономически нецелесообразен, поскольку ряд российский регионов не газифицирован. В-третьих, на тепловую энергию ежегодно возрастает спрос, как со стороны крупных городов из-за увеличения численности населения, так и со стороны различных отраслей промышленности. По нашему мнению, наиболее правильным решением сегодняшних проблем является разработка различных технологий, включающих в свой производственный цикл золошлаковые отходы как основное сырье [9-11]. Наиболее высокое их потребление может обеспечить, как известно [12-14], отрасль производства строительных материалов. Ранее нами выполнены исследования по оценке возможности использования золошлаковых смесей и зол уноса ТЭЦ Иркутской области в различных строительных материалах, таких как золощелочные вяжущие, композиционные вяжущие и бетоны на их основе. Проведя оценку структуры и свойств золошлаковых смесей, нами сделан вывод о возможности их использования в качестве основного сырья при получении зольной керамики. Ранее нами было показано, что она обладает высокими физико-механическими показателями, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 530-2012. Дальнейшие исследования нацелены на внедрение достигнутых результатов в производственный процесс получения зольной керамики методом полусухого прессования. Одним из важнейших показателей является прочность сырца, поскольку при её низких значениях существенно снижаются физико-механические характеристики готовых изделий [15, 16]. В связи с этим целью работы явилась оценка эффективности золошлаковых смесей ТЭЦ для производства изделий строительной керамики. К задачам исследования относятся изучение свойств этих смесей и установление влияния технологических факторов на прочность образца-сырца зольной керамики в процессе сушки при традиционном способе производства методом полусухого прессования.

2. Материалы и методы

В работе была изучена золошлаковая смесь (ЗШС) ТЭЦ-10 ОАО «Иркутскэнерго» с удельной поверхностью 1750 $см^2/г$, насыпной плотностью в исходном состоянии – 0,93 $г/см^3$, истинной плотностью – 1,97 $г/см^3$.

Минералогический состав ЗШС определяли методами рентгенофлуоресцентного и полного силикатного анализа на спектрометре S4 Pioneer. Количественный фазовый анализ золы проводили с помощью внутреннего эталона, в качестве которого использован корунд. Каждую пробу золы «снимали» трижды с перенабивкой кюветы. Расчеты выполняли в программе TOPAS4. Удельную поверхность определяли с помощью ПСХ-12.

Комплексную оценку сырцовой прочности образцов в зависимости от таких показателей как удельная поверхность ЗШС, формовочная влажность и давление прессования проводили с помощью регрессионного анализа. Он представлял собой 2-х уровневый 3-х факторный эксперимент (2^3). Матрица планирования приведена в табл. 1, факторы и интервал варьирования – табл. 2.

Перед использованием для изготовления образцов ЗШС высушивали до постоянной массы и подвергали помолу в вибрационно-шаровой мельнице СВМ-3 до удельной поверхности 2000 и 6000 см^2/г в соответствии с матрицей планирования. Из молотой ЗШС формовали образцы сырца цилиндрической формы диаметром и высотой 50 мм при давлении прессования 15 и 25 МПа и влажностью 8 и 12 %, которые также принимали соответственно матрице планирования. По стандартным методикам определяли плотность и прочность на сжатие образца-сырца непосредственно после его формования и после сушки до постоянной массы. После обжига образцов определяли плотность черепка зольной керамики, прочность при сжатии и водопоглощение в соответствии с положениями ГОСТ 530-2012.

Таблица 1

Матрица планирования

Номер состава	**X_0**	**X_1**	**X_2**	**X_3**
1	+	-	-	+
2	+	+	-	+
3	+	-	+	+
4	+	+	+	+
5	+	-	-	-
6	+	+	-	-
7	+	-	+	-
8	+	+	+	-

Таблица 2

Факторы и интервал варьирования

Факторы	**Уровень фактора**			**Интервал варьирования**
	-1	0	+1	
X_1 – удельная поверхность см^2/г	2000	4000	6000	2000
X_2 – давление прессования, МПа	15	20	25	5
X_3 – формовочная влажность смеси, %	8	10	12	2

3. Результаты и их обсуждение

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа определен химический и минералогический состав ЗШС, которые представлены в табл. 3 и табл. 4, соответственно.

Таблица 3

Химический состав ЗШС

Наименование показателя	Значение показателя, %
SiO_2	49
Al_2O_3	22
Fe_2O_3 общ.	17
MgO	1,5
CaO	5,7
SO_3	0,3
п.п.п.	0,6
сумма	96,1

Таблица 4

Содержание минералов в ЗШС

Название минерала	Содержание, %
Кварц	20
Альбит	6
Муллит	12
Стеклофаза	62

Как видно из табл. 3 и табл. 4, ЗШС представляет собой алюмосиликатный материал со значительным содержанием аморфной стеклофазы, достигающей 62 %.

На основании матрицы планирования для каждого из восьми составов были получены значения плотности и прочности на сжатие (в МПа) образца-сырца, которые приведены в табл. 5.

Как следует из табл. 5, фактические значения прочности на сжатие образцов сырца до и после сушки существенно отличаются, как и их плотность (от 4 до 9 %). Снижение прочности обусловлено удалением влаги, а именно адсорбированной на поверхности твердых частиц, которая, как известно, находится в твердоподобном уплотненном (до 2 г/см^3) состоянии.

Достоверность представленных результатов была получена путем расчета доверительного интервала, однородности дисперсий с помощью критериев Кохрена (табл. 6), проверки модели на адекватность с учетом коэффициентов Фишера (табл. 7).

Таблица 5

Прочность и плотность образцов сырца, отформованных из ЗШС

№ состава в матрице	Прочность на сжатие образца-сырца, МПа		Плотность образца-сырца, кг/м^3	
	до сушки (R_1)	после сушки (R_2)	до сушки	после сушки
1	0,17	0,13	1470	1380
2	0,32	0,32	1395	1330
3	0,2	0,18	1486	1380
4	0,5	0,48	1446	1380
5	0,3	0,24	1540	1390
6	0,25	0,24	1480	1348
7	0,4	0,34	1560	1427
8	0,45	0,43	1530	1410

Таблица 6

Значения коэффициентов Кохрена среднего и максимального квадратичного отклонения образцов до и после сушки

Наименование показателя	**Значение показателя**	
	до сушки	после сушки
max $\hat{S}_2$	0,001	0,00013
$G_{расч}$	0,598	0,364
$G_{табл}$	0,615	0,615
Выводы об однородности дисперсии	$G_{расч} < G_{табл.}$, значит дисперсия однородна	
$S^2_{\{\bar{y}\}}$	0,000106	0,000024

Таблица 7

Значения коэффициентов Фишера и дисперсии адекватности модели образцов до и после сушки

Наименование показателя	**Значение показателя**	
	до сушки	после сушки
$S_{2ад}$	0,0002	0,0000023
$F_{набл}$	2,088	0,1
$F_{табл}$	2,38	2,38
Проверка адекватности модели	модель адекватна, т.к. $F_{набл} < F_{табл}$	
Дисперсия коэффициента регрессии	0,00001	0,0089
Квадратичная ошибка коэффициента регрессии	0,0032	0,094
Коэффициент Стьюдента	2,92	2,92

На основании результатов испытаний, полученных в соответствии с методом математического планирования, было выведено уравнение регрессии прочности при сжатии образца-сырца:

- до сушки:

$$R_1 = 0,33+0,06X_1+0,074X_2 -0,024X_3+0,036X_1X_2+0,064X_1X_3-0,05X_2X_3 \quad (1)$$

- после сушки:

$$R_2 = 0,3+0,08X_1+0,06X_2-0,02X_3+0,026X_1X_2+0,05X_1X_3-0,014X_2X_3 \quad (2)$$

Из анализа полученных уравнений регрессии следует, что коэффициенты указывают на нелинейную зависимость изменения прочности сырца. Положительные значения коэффициентов при X_1 и X_2 дают основание утверждать, что наибольший вклад в её рост вносят такие факторы как удельная поверхность ЗШС и давление прессования. Поскольку значение коэффициента при X_2 во втором уравнении выше на 33 %, чем в первом, удельная поверхность существенней оказывает влияние на сырцовую прочность образцов после их сушки. Давление прессования наоборот способствует росту этой прочности до сушки. Закономерно, что их совместное парное влияние также положительно отражается на сырцовой прочности. Отрицательные значения коэффициентов при факторе X_3 указывает на негативнее влияние формовочной влажности как до, так и после сушки.

При обжиге образцов пятого состава при температуре 1150 °С с длительностью изотермической выдержки один час был получен черепок зольной керамики со следующими физико-механическими характеристиками: плотность 1520 кг/м^3, прочность на сжатие 22 МПа, водопоглощение по массе 13 %, что соответствует нормативным требованиям ГОСТ 530-2012.

4. Заключение

На основании проведенной работы сформулированы следующие выводы:

1. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности производства керамических строительных изделий на основе золошлаковых смесей ТЭЦ-10. Это позволяет решать задачи по утилизации крупнотоннажных отходов, сбережении природных ресурсов и защите окружающей среды.

2. Изучено влияние ряда технологических факторов на сырцовую прочность образцов, приготовленных на основе ЗШС. Показано, что наибольший вклад как до, так и после их сушки оказывает удельная поверхность и давление прессования. При этом формовочная влажность негативно отражается на прочности. При обжиге образцов обеспечиваются повышенные физико-механические показатели: плотность 1520 кг/м^3, прочность на сжатие 22 МПа, водопоглощение 13 %.

3. Показана возможность получения изделий на основе ЗШС методом полусухого прессования с показателями, удовлетворяющими требованиями ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия», что позволяет рекомендовать их для широкого применения на заводах строительной керамики в качестве сырьевых материалов.

Список литературы/References

1. Щербаков Егор. Золошлаковая революция // Сибирский энергетик. 04.09.2015. № 33 (444) [Shcherbakov Egor. Ash and slag revolution // Siberian energy engineer. 09.04.2015. № 33 (444)].
2. Хамраева Р. Б., Герасимова А. А., Сафронов М. В. Перспективы переработки золошлаковых отходов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. Т. 2. № 4 (14). С. 759–761 [Khamraeva R. B., Gerasimova A. A., Safronov M. V. Prospects for processing ash and slag waste // Current problems of aviation and astronautics. 2018. Vol. 2. №. 4 (14). P. 759–761].
3. Гальцева Н. А., Попов П. В., Котов Д. А., Голотенко Д. С. Вторичное использование отходов промышленности // Инженерный вестник Дона. 2022. № 5. [Galtseva N.A. Popov P. V., Kotov D. A., Golotenko D. S. Recycling of industrial waste // Engineering Bulletin of the Don. 2022. № 5] URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2022/7651 (reference date: 16.10.2023).
4. Tahami S. A., Arabani M., Mirhosseini, A. F. (2018). Usage of two biomass ashes as filler in hot mix asphalt. Construction and Building Materials. vol. 170. P. 547-556.
5. Макаров Д. В., Мелконян Р. Г., Суворова О. В., Кумарова В. А. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 254–

281 [Makarov D. V., Melkonyan R. G., Suvorova O. V., Kumarova V. A. Prospects for the use of industrial waste for the production of ceramic building materials // Mining information and analytical bulletin. 2016. № 5. P. 254–281].
6. Скрипникова Н. К., Юрьев И. Ю. Комплексное использование золошлаковых отходов Томской области для получения различных видов строительных материалов // Вестник ТГАСУ. 2013. № 2. С. 245–249 [Skripnikova N. K., Yuryev I. Yu. Integrated use of ash and slag waste from the Tomsk region for the production of various types of building materials // Vestnik TGASU. 2013. № 2. P. 245–249].
7. Zhang L. Production of bricks from waste materials – A review // Construction and Building Materials. 2013. V. 47. P. 643–655. URL: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043
8. Sharma G., Mehla S. K., Bhatnagar T., Bajaj A. Possible use of fly ash in ceramic industries: an innovative method to reduce environmental pollution // International Journal of Modern Physics: Conference Series. 2013. Vol. 22. P. 99–102. DOI: 10.1142/S2010194513009975.
9. Яхонова Д.В., Ляшенко А.Г., Вяльцев А.В. Вторичное использование золошлаковых отходов в дорожном строительстве // Инженерный вестник Дона. 2022. № 11 [Yakhonova D.V., Lyashenko A.G., Vyaltsev A.V. Recycling of ash and slag waste in road construction // Engineering Bulletin of the Don. 2022. № 11]. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8025.
10. Kusiorowski R., Gerle A., Dudek K., Związek K. Application of hard coal combustion residuals in the production of ceramic building materials // Construction and Building Materials. 2021. V. 304. URL: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124506 (reference date: 16.10.2023).
11. Gómez-Ladrón de Guevara, P., Galindo, M., & Gil, C. Cenizas Volantes de Termoeléctrica como Materia Prima para la Fabricación de Materiales Cerámicos de Construcción: Efecto de la Temperatura de Cocción sobre el Material // Materiales de Construcción. 2019. V. 69. № 334. P. 190.
12. Bieliatynskyi A. et al. Prospects for the Use of Ash and Slag Waste in the Construction of Road Pavement // Balt. J. Road Bridg. Eng. 2022. V. 17. № 4. P. 80–94. DOI: 10.7250/bjrbe.2022-17.580.
13. Da Silva S.R., Jairo José de Oliveira Andrade. A Review on the Effect of Mechanical Properties and Durability of Concrete with Construction and Demolition Waste (CDW) and Fly Ash in the Production of New Cement Concrete // Sustainability 2022. 14 (11): 6740. DOI:10.3390/su14116740.
14. R. Galeev, R. Nizamov, L. Abdrakhmanova, V. Khozin. Resource-saving polymer compositions for construction purposes // IOP conference series : Materials Science and Engineering, Kazan, 29 апреля – 15 2020 года. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012111. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012111. – EDN LOMNOQ.
15. Юрьев И. Ю., Скрипникова Н. К., Волокитин О. Г. Исследование влияния модифицированных золошлаковых отходов на свойства обжиговых керамических изделий // Вестник ТГАСУ. 2013. № 4. С. 191–196 [Yuryev I. Yu., Skripnikova N. K., Volokitin O. G. Study of the influence of modified ash and slag waste on the properties of fired ceramic products // Vestnik TGASU. 2013. № 4. P. 191–196].
16. The Effect of Mechanical Activation on the Stabilization of Ash Properties of Krasnoyarsk CHP // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2018. № 11 (7). P. 842–855. DOI: 10.17516/1999-494X-0099.

Информация об авторах

Макаренко Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация.
Email: makarenko_83_07@mail.ru
Гонжитов Алдар Борисович, аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация.
Email: gonzhitov1999@yandex.ru

Хохряков Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
Email: olvik@list.ru
Хозин Вадим Григорьевич, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
Email: khozin.vadim@yandex.ru

Information about the authors

Sergey V. Makarenko, candidate of technical sciences, associate professor, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation.
Email: makarenko_83_07@mail.ru
Aldar B Gonzhitov, post-graduate student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation.
Email: gonzhitov1999@yandex.ru
Oleg V. Khokhryakov, doctor of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.
Email: ninamor@mail.ru
Vadim G. Khozin, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.
Email: khozin.vadim@yandex.ru

УДК: 691.175.3
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_241
EDN: QQUTHA

Оценка напряженно-деформированного состояния гибридных полимерных композитов, изготовленных методом вакуумной инфузии

А.И. Валиев[1], Ф.Р. Шакирзянов[1], А.М. Сулейманов[12], Р.К. Низамов[12]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи*. Разработка гибридных полимерных композитов (с гетероволокнистым наполнением) конструкционного назначения неразрывно связано с необходимостью увеличения прочностных и жесткостных характеристик композитов. Для успешного внедрения гибридных композитов в строительную практику, необходимым является совершенствование моделирования и оценки их напряженно-деформированного состояния на различных этапах разработки. Цель исследования заключается в разработке и оценке напряженно-деформированного состояния изделий из гибридных композитов, выполненных методом вакуумной инфузии при трехточечной схеме нагружения. Задачами исследования являются: изготовление композитов из стеклопластика, углепластика, и их гибридов; определение физико-механических характеристик композитов; верификация аналитической и численной модели с натурными испытаниями.
Результаты. Изготовлены композиты из стеклопластика, углепластика и гибридные композиты с различным сочетанием стеклянных и высокопрочных углеродных волокон и низковязкой эпоксидной смолы методом вакуумной инфузии. Проведены испытания на растяжение, сжатие, межслоевой сдвиг, трехточечный изгиб и определены физико-механические характеристики материалов, а также плотность, потеря массы при прокаливании отвержденных армированных смол. Разработана численная модель многослойных композитов, получено напряженно-деформированного состояние балок, проведена верификация аналитической и численной модели с экспериментом при трехточечной схеме нагружения.
Выводы. Значимость полученных результатов в строительной отрасли заключается в оценке напряженно-деформированного состояние гибридных композитов с целью дальнейшего внедрения в строительную практику и рекомендовано при решении научных и инженерных задач.

Ключевые слова: полимер, стеклопластик, углепластик, гибрид, растяжение, сжатие, межслойный сдвиг, трехточечный изгиб, вакуумная инфузия

Для цитирования: Валиев А.И., Шакирзянов Ф.Р., Сулейманов А.М., Низамов Р.К. Оценка напряженно-деформированного состояния гибридных полимерных композитов, изготовленных методом вакуумной инфузии//Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 241-254, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_241, EDN: QQUTHA

Estimation of stress-strain state of hybrid polymer composites manufactured by vacuum infusion method

A.I. Valiev[1], F.R. Shakirzyanov[1], A.M. Suleymanov[12], R.K. Nizamov[12]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* The development of hybrid polymer composites (with heterofiber filling) for structural purposes is inextricably linked with the need to increase the strength and stiffness characteristics of composites. For successful implementation of hybrid composites in construction practice it is necessary to improve modeling and evaluation of their stress-strain state at various stages of development. The aim of the study is to develop and evaluate the stress-strain state of products from hybrid composites made by vacuum infusion at three-point loading scheme. The objectives of the research are fabrication of composites from fiberglass, carbon fiber, and their hybrids; determination of physical and mechanical characteristics of composites; verification of analytical and numerical model with field tests.
Results. Glass fiber-reinforced plastic, carbon fiber-reinforced plastic and hybrid composites with different combination of glass and high-strength carbon fibers and low-viscosity epoxy resin were produced by vacuum infusion method. Tensile, compression, interlayer shear, and three-point bending tests were performed and the physical and mechanical characteristics of the materials were determined, as well as the density, mass loss on ignition of the cured reinforced resins. A numerical model of multilayer composites was developed, the stress-strain state of beams was obtained, and verification of the analytical and numerical model with experiment was carried out under three-point loading scheme.
Conclusions. The significance of the obtained results in the construction industry lies in the evaluation of the stress-strain state of hybrid composites for the purpose of further implementation in construction practice and it is recommended in solving scientific and engineering problems.

Keywords: polymer, fiberglass, carbon fiber, hybrid, tension, compression, interlayer shear, three-point bending, vacuum infusion

For citation: Valiev A.I., Shakirzyanov F.R., Suleymanov A.M., Nizamov R.K. Estimation of stress-strain state of hybrid polymer composites manufactured by vacuum infusion method//News KSUAE, 2023, № 4(66), c. 241-254, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_241, EDN: QQUTHA

1. Введение

В строительной практике для успешного внедрения полимерных композитов необходимо совершенствовать численное моделирование их напряженно-деформированного состояния на этапе проектирования, изготовления, мониторинга при эксплуатации, а также при прогнозировании упруго-механических свойств с использованием численного обучения [1-3].

Изготовление гибридных композитных материалов может существенно улучшить физико-механические и эксплуатационные свойства композитов, что будет способствовать их востребованности в строительстве. Одним из основных недостатков стеклопластиковых материалов является - низкая прочность и жесткость. Высокопрочные борные волокна хорошо выдерживают большие изгибные напряжения (они могут быть успешно использованы в местах соединений), в то время как углеродные волокна прекрасно работают на кручение и сжатие в арочных конструкциях.

Необходимость определения напряженно-деформированного состояния с последующим проведением верификации численной модели для полимерных композитов конструкционного назначения, в частности гибридных (с гетероволокнистым наполнением) является актуальным [4-6]. Также решением ключевой проблемы,

сдерживающей широкое применение композитов, является оценка прочности согласно второй группе предельных состояний, по которому элементы конструкции должны удовлетворять нормальным условиям эксплуатации (в частности по деформациям), препятствуя уменьшению долговечности по сравнению с предусматриваемым сроком службы. Достижение предельных деформаций элементов конструкций, устанавливаемых исходя из технологических, конструктивных, эстетико-психологических требований по ГОСТ 27751-2014 и СП 20.13330.2016 (предельные прогибы, нормативные и расчетные значения нагрузок) [7, 8].

Согласно ГОСТ Р 54928-2012 «Пешеходные мосты и путепроводы из полимерных композитов» основные несущие конструкции рекомендуется изготавливать из термореактивных смол, армированных стекловолокном и/или углеволокном по технологии вакуумной инфузии, для остальных конструктивных элементов возможно изготовление пултрузией, ручной выкладкой или другими способами производства [9, 10].

Полимерные композиты (ПК) имеют анизотропию механических свойств как всего материала, так и каждого его слоя. Рациональное же расположение слоев позволяет увеличить прочность и жесткость ПК. Для оценки напряженно-деформированного состояния гибридных ПК при трехточечной схеме нагружения необходимы определить механические характеристики при растяжении, сжатии, межслойном сдвиге стеклопластика и углепластика по действующим нормативным документам. С этой целью были изготовлены пластины из стеклопластика, углепластика, а также их гибриды.

Целью работы является оценка напряженно-деформированного состояния гибридных ПК, изготовленных методом вакуумной инфузии при трехточечной схеме нагружения.

Для достижения цели необходимо:

– Изготовить композиты из стеклопластика, углепластика, и их гибридов;

– определить физико-механические характеристики композитов;

– верифицировать аналитическую и численную модель с результатами натурных испытаний.

2. Материалы и методы

Для изготовления пластин использовались следующие материалы наполнителей и связующего.

Материалы наполнителя:

1. Однонаправленная углеродная ткань Fib Arm Tape 230 производства АО «Юматекс» Госкорпорации «Росатом» (ТУ 1916-018-61664530-2013).
2. Однонаправленная стеклянная ткань (лента) Ortex 400 O 250 производства «БауТекс» (ТУ 13.20.46.000-006-52788109-2019

Связующее:

Эпоксидная низковязкая смола L (является бисфенольной (A+F), разбавляется бифункциональным соединением, эпоксидное число равно 0,56 (100/экв.), а эпоксидный эквивалент составляет 179 (г/экв.) с вязкостью при 25°C – 710±70 мПас) с отвердителем GL2 (составы алифатических/циклоалифатических аминов) производства R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH, Германия (соотношение «Смола L-отвердитель GL2»-100:30, вязкость при 25°C – 248±100 мПас).

Полимерные композиционные пластины, в том числе гибридные, изготавливались методом вакуумной инфузии с использованием мобильной установки для инфузии МВС-20-01 (с цифровым вакуумметром, поддерживающим заданное давление).

Рассмотрены следующие варианты полимерных композиционных пластин:

1. Пластина из стеклопластика из 8 слоев стеклянной ткани;
2. Пластина из углепластика из 10 слоев углеродной ткани;
3. Гибридная пластина (1) из угле- стеклопластика с чередованием слоев (11 слоев углеродной ткани, 10 слоев стеклянной ткани), симметричной относительно нейтральной оси;
4. Гибридная пластина (2) из угле- стеклопластика с толщиной углепластика по 2 слоя (4 слоя углеродной ткани, 17 слоев стеклянной ткани), симметрично

относительно нейтральной оси;

Алгоритм изготовления полимерных композиционных материалов, в том числе гибридных методом вакуумной инфузии (рис. 1):

1. Подготовка формы под ПК. Форма выполняется из химически устойчивых материалов, способных выдерживать технологические температуры, без дефектов. На поверхность формы наносят разделительный агент;
2. Укладка слоя, которая разделяет оснастку и наполнители (укладка «жертвенной» ткани) с целью устранения неровностей поверхности, сохранения чистоты поверхности, удаляется после завершения технологического процесса;
3. Укладка слоев наполнителя;
4. Укладка «технологического» слоя (выкладка вспомогательных материалов), а именно повторная укладка «жертвенной ткани» (по желанию), укладка дренажной сетки для отвода воздуха и распределения смолы, которая будет поступать через распределительные трубки (для удобства работ, а именно для простоты отклеивания при расформовке изделия под дренажную сетку устанавливается разделительный слой), также укладка каналов распределения смолы (спиральные трубки) и вакуумных линий;
5. Герметизация формы. С целью герметизации используется многослойная композитная пленка для вакуумной инфузии большего размера, чем само изделие, которая крепится к форме с использованием герметизирующего жгута;
6. Пропитка изделия смолой (низкой вязкости, с низким экзотермическим пиком);
7. Расформовка изделия с дальнейшим постотверждением (постотверждение изделий выполнялось при температуре 40°С в течении 15 часов в климатической камере ILKA).

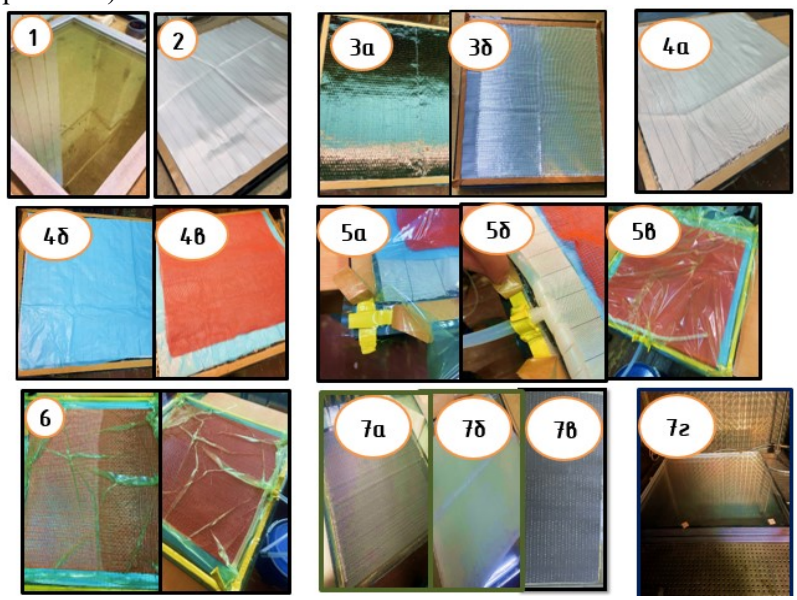


Рис. 1. Алгоритм изготовления полимерных композиционных материалов, в том числе гибридных, методом вакуумной инфузии
(1-подготовка формы; 2-укладка «жертвенной» ткани; 3а,б-укладка наполнителя (углеткани/стеклоткани); 4а-повторная укладка «жертвенной ткани»; 4б-укладка разделительного слоя под дренажную сетку; 4в-укладка дренажной сетки, 5а, б, в-процессы герметизации формы, 6-пропитка изделия смолой;
7-а, б, в-готовое изделие из углепластика/стеклопластика/гибрида;
7г-постотверждение изделия в климатической камере ILKA) (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Algorithm of manufacturing polymer composite materials, including hybrid ones, by vacuum infusion method
(1-preparation of the mold; 2-laying of the "sacrificial" fabric; 3a,b-laying of the filler (carbon fiber/glass fabric); 4a-repeated laying of the "sacrificial fabric"; 4b-laying of the separating layer under the drainage mesh; 4c-laying of the drainage mesh, 5a, b, c-processes of mold sealing, 6-impregnation of the product with resin;
7a, b, c-finished carbon fiber/glass fiber/hybrid product;
7d-post-curing of the product in the ILKA climatic chamber) (illustration by the authors)

Готовые изделия в виде пластин из углепластика с однонаправленным армированием с толщиной монослоя 0,22-0,24 мм, и пластины из стеклопластика толщиной 0,27-0,29 мм подвергались механической обработке (герметизация вакуумным мешком, разницы давлений вызывает небольшую разнотолщинность в пределах нормы) с целью подготовки образцов на станке ЧПУ, конденсации по ГОСТ 12423, ГОСТ 56762 с последующим определением следующих физико-механических характеристик:

а) испытания на растяжение для углепластиков (ГОСТ Р 56785-2015), для стеклопластиков (ГОСТ 32656-2017, ГОСТ 11262), отвержденного связующего (ГОСТ 11262-2017);

б) испытания на межслоевой сдвиг (ГОСТ 32659-2014);

в) испытания на трехточечный изгиб (ГОСТ Р 56805-2015);

г) определение плотности (ГОСТ 57713-2017);

д) определение потерь массы при прокаливании отвержденных армированных смол (ГОСТ 57042-2016).

С помощью упрощенного стереоскопического микроскопа МПСУ-1 (при увеличении оптической головки в 0,5 крат) путем присоединения адаптера AmScope SLR/DSLR (с увеличением 2х) совместимым с зеркальным фотоаппаратом Nikon D3100 (14,2 мегапикселей) были получены микрофотографии, выполнены фото разрушения гибридного ПК (1) и гибридного ПК (2) при трехточечной схеме нагружения. По ГОСТ 57042-2016 определялись потери массы при прокаливании отвержденных армированных смол, по ГОСТ 57713-2017 определялись плотности композитов.

Считается, что при трехточечном изгибе полимерной композиционной балки общий прогиб (w, мм) будет состоять из двух слагаемых: прогиба от изгибающего момента ($w^{\text{изг}}$, мм) и прогиба от сдвига ($w^{\text{сдв}}$, мм) под действием поперечной силы [11].

$$w = w^{\text{изг}} + w^{\text{сдв}}, \tag{1}$$

где

$$w^{\text{изг}} = \frac{Pl^3}{48E_x^{\text{и}}J}, \tag{2}$$

Прогиб от сдвига состоит из двух слагаемых: упругая и вязкоупругая:

$$w^{\text{сдв}} = w^{\text{упруг}} + w^{v} = \frac{Pla}{4G_{xz}^{\text{и}}A} + \frac{y^{v}l}{2}, \tag{3}$$

Здесь, P – нагрузка (Н), l - расстояние между опорами (мм), $E_x^{\text{и}}$ -действительный модуль упругости при поперечном изгибе (МПа), J -момент инерции поперечного сечения (мм^4), $G_{xz}^{\text{и}}$ -модуль сдвига при поперечном изгибе (МПа), A -площадь сечения (мм^2). Коэффициент a зависит от формы поперечного сечения, которая для прямоугольного сечения равняется a=1,2;

y^{v}- неупругая часть деформации сдвига;

$$w = \frac{Pl^3}{48E_x^{\text{и}}J} + \frac{Pla}{4G_{xz}^{\text{и}}A} + \frac{y^{v}l}{2}. \tag{4}$$

При расчете строительных конструкций должно выполняться условие:

$$w \le w_{max} \tag{5}$$

где, w_{max} - предельный прогиб (выгиб) или перемещение согласно СП 20.13330.2016.

Вязкопластическая часть деформаций вдоль волокон в первом приближении расчета композитных материалов не учитывается.

Тогда соотношение (4) примет вид:

$$w = \frac{Pl^3}{48E_x^{\text{и}}J} + \frac{Pla}{4G_{xz}^{\text{и}}A} \tag{6}$$

Модуль упругости $E_{\text{и}}^{\text{п}} = \frac{\Delta FL^3}{4bh^3\Delta\omega}$, определенный по ГОСТ 56805-2015, является фиктивным, так как не отражает влияние сдвигов, т.е $E_{\text{и}}^{\text{п}} \neq E_x^{\text{и}}$. Отличие фиктивного модуля упругости $E_{\text{и}}^{\text{п}}$ от действительного $E_x^{\text{и}}$ тем значительнее, чем больше h/l и чем

выше степень анизотропии. Между $E_{\text{и}}^{\text{п}}, E_x^{\text{и}}, G_{xz}^{\text{и}}$ существует линейная зависимость (упрощенный подход С.П. Тимошенко):

$$\frac{1}{E_{\text{и}}^{\text{п}}} = \frac{1}{E_x^{\text{и}}} + \frac{1{,}2}{G_{xz}^{\text{и}}}\left(\frac{h}{l}\right)^2 \quad (7)$$

Тогда модули $E_x^{\text{и}}$ и $G_{xz}^{\text{и}}$ находится из графика $\frac{w}{Pl} - l^2$ при различных h/l [12].

Модуль сдвига также можно определить согласно натурным испытаниям по ГОСТ Р 56799, ГОСТ 33843-2016 и др., которые предполагают довольно трудоемкое проведение испытаний.

Допускаемая деформация балок, в том числе и прогибы несущих элементов конструкций необходимо рассчитывать с значениями модулей упругости при максимальных температурах эксплуатации, а также изменения его значений в конце срока службы конструкции (ГОСТ Р 54928).

Так, согласно [11] действительный модуль упругости $E_x^{\text{и}}$ для пултрузионных стеклопластиков рекомендуется принимать по наименьшим значениям расчетных значений модулей упругости при растяжении (в работе [13] также принимают $E_x^{\text{и}} = E^p$ в направлении 0°) и сжатии с учетом различных коэффициентов условий работы:

$$E^p = E^{\text{н}}\Upsilon_{\text{T}}\Upsilon_w\Upsilon_{\text{дл}} \quad (8)$$

Для модуля сдвига $G_{xz}^{\text{и}}$, определенного по испытаниям, аналогично:

$$G^p = G^{\text{н}}\Upsilon_{\text{T}}\Upsilon_w\Upsilon_{\text{дл}} \quad (9)$$

При отсутствии i-ой нагрузки - Υ_i=1.

$\Upsilon_{\text{T}} -$ коэффициент условий работы при постоянно действующих повышенных температурах, превышающих 25°С, принимаемый по формуле:

$$\Upsilon_{\text{T}} = -0{,}0069T + 1{,}1385 \quad (10)$$

где Т- постоянно действующая повышенная температура эксплуатации, °С.

Сезонное повышение температуры выше 25°С, нагрев профилей под воздействием солнца не влияют на значение коэффициента Υ_{T}.

$\Upsilon_w -$ коэффициент условия работы, учитываемый при постоянном увлажнении поверхности конструкции из профилей конденсатом, обрызгиванием, проливом или длительном нахождении конструкций из профилей в воде (под слоем воды), и определяется по формуле:

$$\Upsilon_w = 1{,}1409\left(\frac{t}{t_0}\right)^{-0.037} \quad (11)$$

Климатические воздействия в виде осадков (снег, дождь и т.п.) не влияют на значения коэффициента Υ_w.

$\Upsilon_{\text{дл}} -$ коэффициент условий работы, учитывающий длительную нагруженность конструкций, принимаемый по формуле:

$$\Upsilon_{\text{дл}} = 0{,}8319\left(\frac{t}{t_0}\right)^{-0.044} \quad (12)$$

где $t -$ время эксплуатации под действием соответствующей нагрузки, в часах, $t_0 = 1$ час. При постоянной нагрузке: t будет равно сроку эксплуатации конструкции. При временной длительной нагрузке- t будет равно времени нахождения конструкции под нагрузкой, при этом интервалы времени в процессе эксплуатации конструкции суммируются; при кратковременной нагрузке - $\Upsilon_{\text{дл}}$.=1.

Также согласно [11] при наличии специализированного программного обеспечения, позволяющего учесть работу разномодульного анизотропного материала, расчет рекомендуется выполнять с учетом приведенного модуля упругости $E_{\text{пр}}$, определяемого по формуле:

$$E_{\text{пр}} = E_{t,L}^p \frac{I_1}{I} + E_{c,L}^p \frac{I_2}{I} \quad (13)$$

где $E_{t,L}^p$ и $E_{c,L}^p -$ расчетные модули упругости при растяжении и сжатии в направлении 0°, кН/м^2 соответственно;

I_1 и $I_2 -$ моменты инерции в растянутой и сжатой зоны сечения относительно нейтральной оси, м^4;

I – момент инерции всего сечения относительно нейтральной оси, принимаемые соответственно в плоскости наибольшей или наименьшей жесткости вдоль осей Х или У, $м^4$.

Определение напряженно-деформированного состояния балок из стеклопластика, углепластика, гибрида на трехточечный изгиб выполнен в ПК «ANSYS 2020 R2». Физико-механические характеристики для ПК приняты согласно, проведенным экспериментальным исследованиям. Расчет выполнен в предположении, что слои многослойного материала идеально связаны между собой, т.е взаимное проскальзывание слоев отсутствует, слои деформируются совместно и линейно, в структуре отсутствуют дефекты и поры, взаимодействие на межфазной границе идеальное. Толщина монослоя для стеклопластика принята равной 0,28 мм, для углепластика 0,23 мм. В расчете использовался конечный элемент SOLID 186.

3. Результаты и обсуждение

В результате проведенных натурных испытаний (рис.2), определены физико-механические характеристики полимерных композиционных материалов и представлены в табл. 1.

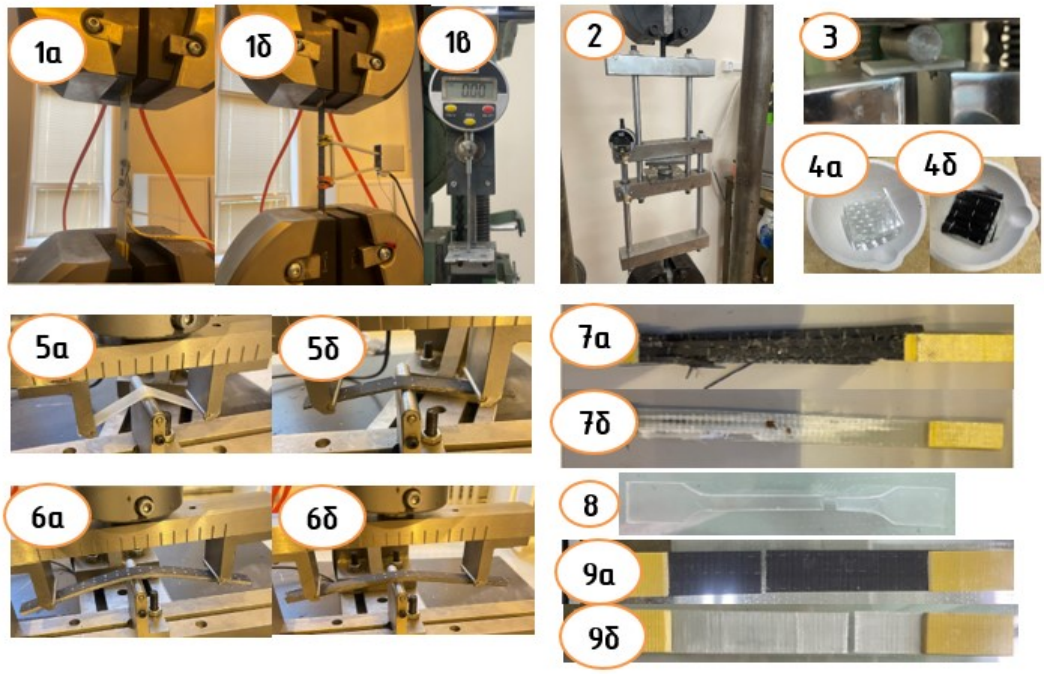


Рис. 2. Испытания полимерных композиционных материалов, в том числе гибридных (1а, б, в-испытания на растяжение стеклопластиков, углепластиков, отвержденных связующих соответственно; 2-испытания на сжатие; 3- испытания на межслойный сдвиг; 4а, б-определение потерь массы при прокаливании отвержденных армированных смол стеклопластика и гибридного образца соответственно; 5а, б-испытания на трехточечный изгиб стеклопластика/углепластика соответственно; 6а, б-испытания на трехточечный изгиб гибридного ПК (2)/ гибридного ПК (1) соответственно; 7а, б- разрушенные образцы из углепластика/стеклопластика при растяжении (направление 0°) соответственно; 8-разрушенный образец отвержденного связующего; 9а,б- разрушенные образцы из углепластика/стеклопластика при растяжении (направление 90°) (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Tests of polymer composite materials, including hybrid materials (1a, b, c-tensile tests of FRP, CFRP, cured binders, respectively; 2-compression tests; 3- interlayer shear tests; 4a, b-determination of mass loss on ignition of cured reinforced resins of FRP and hybrid specimen, respectively; 5a, b-three-point bending tests of FRP/Carbon fiber-reinforced plastic, respectively; 6a, b - three-point bending tests of hybrid PC (2)/ hybrid PC (1), respectively; 7a, b - broken carbon fiberglass/glass fiberglass samples in tension (0° direction), respectively; 8 - broken sample of cured binder; 9a, b - broken carbon fiberglass/glass fiberglass samples in tension (90° direction) (illustration by the authors)

По результатам испытаний установлено, что значения предела прочности на растяжение в направлении 0° высокие, т.е. значения, присущие к углепластикам, больше на 56,6% по сравнению со стеклопластиками.

По результатам определения прочности на растяжение в направлении 90° для композитов наблюдаются низкие значения, меньше на 71,2% для углепластиков и 17% для стеклопластиков по сравнению с отвержденным связующим, что говорит на данном этапе о плохой адгезии между углеродными волокнами и полимерным связующим. Также это подтверждается результатами определения предела прочности при межслоевом сдвиге методом «короткой балки», разница значений между стеклопластиком и углепластиком составляет 33,4%.

Таблица 1

Вид испытания	Материал	Нормативный документ	Физико-механические характеристики	
			0°	90°
Растяжение	Стеклопластик	ГОСТ 32656-2017, ГОСТ 11262	E=59,8 ГПа σ_b=809,6 МПа ν=0,26	E=14,3 ГПа σ_b=60,85 МПа
	Углепластик	ГОСТ Р 56785-2015	E=124,01 ГПа σ_b=1865,08 МПа ν=0,27	E=5,9 ГПа σ_b=21,11 МПа
	Отвержденное связующее	ГОСТ 11262-2017	$\sigma_{рм}$=73,33 МПа	
Межслоевой сдвиг	Стеклопластик	ГОСТ 32659-2014	τ=49,61 МПа	
	Углепластик		τ=33,05 МПа	
	Гибридный ПК (1)		τ=41,4 МПа	
	Гибридный ПК (2)		τ=47,52 МПа	
Изгиб	Стеклопластик	ГОСТ Р 56805-2015	$\sigma_{и}^{в}$=815,49 МПа $E_{И}^{П}$=34,17 ГПа	
	Углепластик		$\sigma_{и}^{в}$=466,2 МПа $E_{И}^{П}$=104,19 ГПа	
	Гибридный ПК (1)		$\sigma_{и}^{в}$=574,31 МПа $E_{И}^{П}$=67,4 ГПа	
	Гибридный ПК (2)		$\sigma_{и}^{в}$=881,54 МПа $E_{И}^{П}$=58,08 ГПа	
Плотность	Стеклопластик	ГОСТ 57713-2017	2000 кг/м^3	
	Углепластик		1500 кг/м^3	
Определение потерь массы при прокаливании отвержденных армированных смол	Стеклопластик	ГОСТ 57042-2016	X=24 %	
	Углепластик		X=35 %	
	Гибридный ПК (1)		X=29,2 %	
	Гибридный ПК (2)		X=25,6 %	

Определение потерь масс при прокаливании отвержденных армированных смол проводилось с целью определения соотношения компонентов «наполнитель-матрица», которая, в частности, влияет на упруго-механические характеристики готового изделия. По результатам испытания наблюдается, что для углепластика требуется на 31,4% больше связующего, чем для стеклопластика. Для гибридных ПК уменьшение соотношения эпоксидного связующего к наполнителю по сравнению с углепластиком для гибридного ПК (1) составила 16,6%, для гибридного ПК (2) 26,9%. Теоретически, содержание волокон не зависит от их диаметров, но, несмотря на это, в системе, которая содержит в себе волокна с меньшим диаметром сложнее всего преодолевать трение, удалять избыток связующего. В случае углеродных волокон, которые имеют почти в 2 раза меньший диаметр, чем стеклянные волокна, максимальное содержание волокна составляет 65%, для стеклопластика около 80%. Необходимо отметить, что в элементах

конструкций, которые подвержены к восприятию сдвиговых нагрузок не рекомендуется использование высокоармированных композитов, для атмосферостойких конструкций также в основном используются композиты с повышенным содержанием связующего. Так, гибридные ПК кроме улучшения упруго-механических показателей, также позволяют регулировать и соотношение связующего в материале.

Для расчетов в ПК «ANSYS 2020 R2» были приняты следующие параметры:

1) Коэффициент Пуассона в направлении 90° для стеклопластика и углепластика принят равным ν=0,1 (по формуле $\nu(90°) = \frac{E(90°)}{E(0°)} * \nu(0°)$).

2) Модуль сдвига для гибридного ПК (1), изготовленного чередованием углеволокон и стекловолокон, и для гибридного ПК (2) из стеклопластика, армированного сверху и снизу двумя слоями из углепластика, определен по результатам испытаний на изгиб с построением графика $\frac{w}{Pl} - l^2$ при предельном прогибе в упругой зоне w_{max} согласно СП 20.13330.2016, в данном случае w_{max} при F=20 Н. Результаты определения $G_{xz}^{и}, E_x^{и}$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Материал	$G_{xz}^{и}$, ГПа	$E_x^{и}$, ГПа
Гибридный ПК (1)	6,01	84,67
Гибридный ПК (2)	6,16	104,49

По такому же принципу, модуль сдвига для стеклопластика составил 7,3 ГПа, для углепластика 8,3 ГПа.

3) Относительные деформации *стеклопластика*:

а) Растяжение в направлении X – ε_x^+ =0,0135;

б) Растяжение в направлении Y и Z – $\varepsilon_y^+ = \varepsilon_z^+$ =0,0043;

в) Сжатие в направлении X – ε_x^- =0,0039;

г) Сжатие в направлении Y и Z – $\varepsilon_y^- = \varepsilon_z^-$ =0,0097;

д) Сдвиг – $\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{yz}$ =0,0068.

4) Относительные деформации *углепластика*:

а) Растяжение в направлении X – ε_x^+ =0,015;

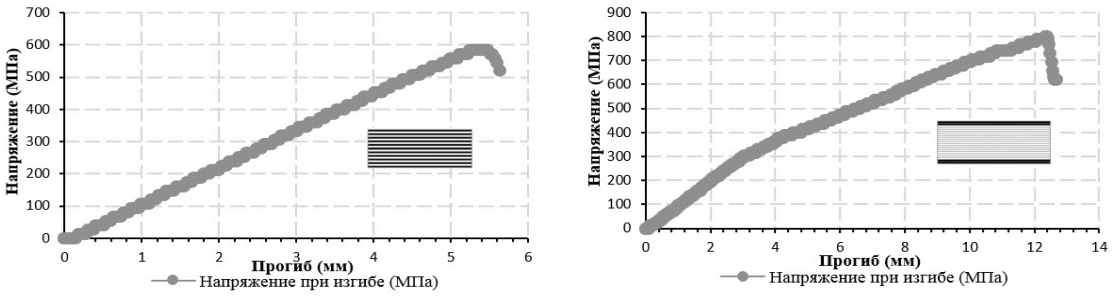
б) Растяжение в направлении Y и Z – $\varepsilon_y^+ = \varepsilon_z^+$ =0,0036;

в) Сжатие в направлении X – ε_x^- =0,0014;

г) Сжатие в направлении Y и Z – $\varepsilon_y^- = \varepsilon_z^-$ =0,0168;

д) Сдвиг – $\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{yz}$ =0,004.

Диаграммы «Напряжение-прогиб» по результатам натурных испытаний гибридных композитов на трехточечный изгиб приведены на рис. 3.



а) б)

Рис. 3. Диграмма Напряжение-прогиб» по результатам натурных испытаний для а) гибридного ПК (1), б) гибридного ПК (2) (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Stress-deflection diagram" based on the results of field tests for a) hybrid PC (1), b) hybrid PC (2) (illustration by the authors)

По результатам определения прочности при трехточечном изгибе наибольшая прочность наблюдается у гибридного ПК (2), наименьшая у углепластика. При этом, модуль упругости у гибридного ПК (2) при добавлении по 2 слоя углеткани симметрично относительно нейтральной оси увеличивается по сравнению со стеклопластиком на 41,2%, при чередовании слоев на 49,3%. Модуль упругости углепластика по сравнению

со стеклопластиком больше на 67,2%. Таким образом, сочетание стеклянных и углеродных волокон позволяет увеличить модуль упругости при изгибе, уменьшая прогибы. Прогиб определен по траверсе испытательной машины. При проведении испытаний на изгиб происходит локальное деформирование в районе пуансона и опор, поэтому значения прогибов, определенных по траверсе, считается больше истинного прогиба образца [12].

Диаграммы «Напряжение/Нагрузка - относительная деформация на внешней поверхности образца» по результатам натурных испытаний приведены на рис. 4.

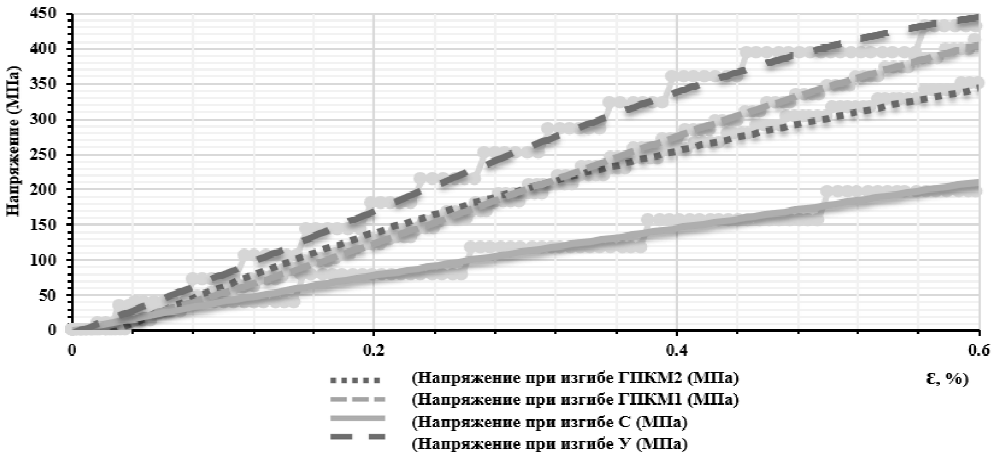


Рис. 4. Диграмма «Напряжение/нагрузка-относительная деформация» по результатам натурных испытаний (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Stress/load-relative strain diagram based on the results of in-situ tests (illustration by the authors)

Из диаграммы видно, что добавление углеродного волокна в сжатой и растянутой зонах заметно уменьшает общий прогиб по сравнению со стеклопластиком. Фото разрушения гибридного ПК (1) и гибридного ПК (2) представлены на рис. 5.

а) б)

Рис. 5. Фото разрушения а) гибридного ПК (1), б)гибридного ПК (2) при трехточечной схеме нагружения (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Photo of a) hybrid PC (1), b) hybrid PC (2) fracture under three-point loading scheme (illustration by the authors)

На рис. 6 и 7 представлены напряженно-деформированные состояния для гибридного ПК (1) и гибридного ПК (2).

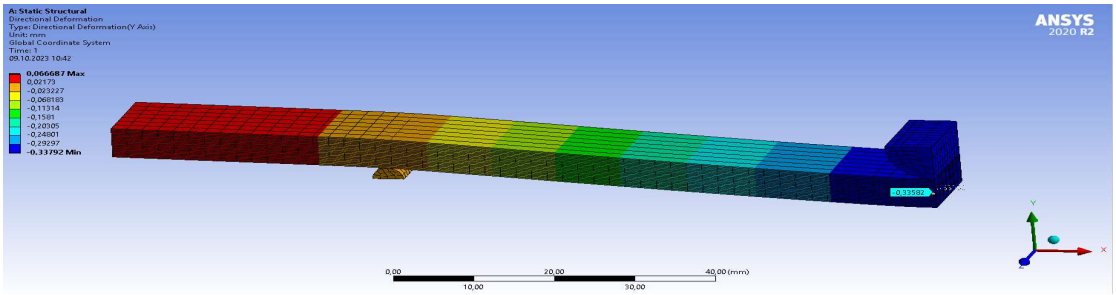


Рис. 6. НДС гибридного ПК (1) при трехточечной схеме нагружения (иллюстрация авторов)

Fig. 6. Stress-strain state of hybrid PC (1) under three-point loading scheme (illustration by the authors)

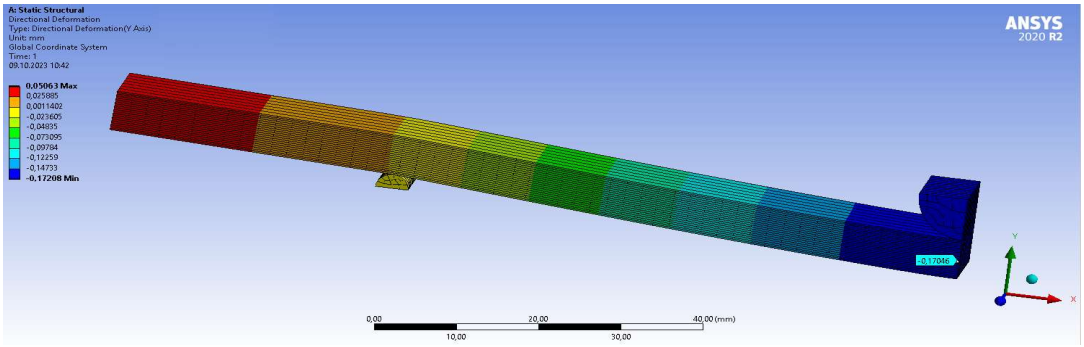


Рис. 7. НДС гибридного ПК (2) при трехточечной схеме нагружения (иллюстрация авторов)

Fig. 7. Stress-strain state of hybrid PC (2) under three-point loading scheme (illustration by the authors)

Результаты определения общего прогиба по результатам натурных испытаний, теоретически по формуле 6 с применением упрощенного подхода С.П. Тимошенко, по численной модели в ПК «ANSYS 2020 R2», реализующий метод конечных элементов при F=20 Н приведены в табл. 3.

Таблица 3

Материал	*w* (натурный эксперимент)	*w* (по формуле 6-подход С.П. Тимошенко)	*w* (по результатам расчета в ПК «ANSYS 2020 R2»)
Гибридный ПК (1)	0,179	0,084	0,336
Гибридный ПК (2)	0,114	0,057	0,170

По результатам табл. 3 можно отметить, что прогибы, определенные по результатам расчета в ПК «ANSYS 2020 R2» больше, чем при натурных испытаниях. Предполагаем, что это связано с синергетическим эффектом в гибридном композите, который нами объясняется как явление, при котором свойства гетероволокнистых ПК не определяются свойствами отдельно взятых компонентов, входящих в их состав. Причинами возникновения такого эффекта сопровождается наличием остаточных напряжений в композите, в частности из-за разной морфологии армирующих компонентов, различия коэффициентов температурного расширения.

Верификация упруго-механических характеристик с использованием метода конечных элементов с последующим прогнозированием промежуточных значений с помощью численного обучения [14, 15] является одним из способов предварительной оценки, этапом проектирования для изделий из ПК, гибридных ПК [16].

Следующим этапом внедрения гибридных полимерных композитов является обеспечение оптимальной стоимости, обеспечивающей экономическую эффективность на всех стадиях производства, монтажа, эксплуатации с последующей утилизации или возможности вторичного использования [17].

4. Заключение

В данной работе представлены результаты исследований гибридных композитов, изготовленных путем сочетания стеклянных и углеродных волокон и эпоксидного связующего методом вакуумной инфузии:

1. Проведены испытания по определению физико-механических характеристик стеклопластиков, углепластиков, и их гибридов. Увеличение модуля упругости при изгибе гибридного композита с толщиной по два слоя углепластика, симметрично относительно срединной плоскости, по сравнению со стеклопластиком составило 41,2%, для гибридного полимерного композита с чередованием составило 49,3 %. Высокая эффективность материала достигается уже при небольшом по объему содержании волокон;

2. Проведены испытания по определению прочности на растяжение в направлении 90° (меньше на 71,2% для углепластиков и 17% для стеклопластиков по сравнению с

отвержденным связующим), предела прочности при межслоевом сдвиге методом «короткой балки» полимерных композитов, по результатам которых была выявлена плохая адгезия между углеродными волокнами и полимерным связующим;

3. Выявлено, что для гибридных полимерных композитов по сравнению со стеклопластиками требуется больше связующего в среднем на 12,4%, что положительно сказывается для атмосферостойких конструкций, подверженных к восприятию сдвиговых нагрузок, а по сравнению с углепластиками требуется меньше связующего в среднем на 27,7%, что целесообразно с точки зрения экономии;

4. Выполнена оценка прогибов по напряженно-деформированному состоянию гибридных полимерных композитов теоретически, с использованием численной модели и по результатам натурных испытаний. Наименьший прогиб наблюдается при теоретическом подходе с использованием упрощенного подхода С.П. Тимошенко без учета вязкопластической части деформаций и без учета коэффициентов условий работы, наибольшие прогибы определены по конечно-элементной модели, которая предполагает, что слои композита деформируются совместно и линейно, структура гибридного композита без дефектов с идеальным взаимодействием компонентов. Прогибы по натурным испытаниям определены по траверсе и считаются больше истинных прогибов за счет локального деформирования в районе пуансона и опор;

5. Для внедрения гибридных полимерных композитов в строительную практику рекомендуется проведение работ по обеспечению межфазной области «волокно-матрица», которая при максимальном эффекте позволит в значительной степени использовать прочность наполнителя, оптимизационных расчетов с использованием численных моделей.

Список литературы/ References

1. Chen, C.-T.; Gu, G.X. Machine learning for composite materials. MRS Commun. 2019, 9, 556–566. DOI: 10.1557/mrc.2019.32.
2. Li, X.; Liu, Z.; Cui, S.; Luo, C.; Li, C.; Zhuang, Z. Predicting the effective mechanical property of heterogeneous materials by image based modeling and deep learning. Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 2019, 347, 735–753.
3. Almeida-Fernandes, L.; Silvestre, N.; Correia, J.R.; Arruda, M. Fracture toughness-based models for damage simulation of pultruded GFRP materials. Compos. Part B Eng. 2020, 186. DOI: 10.1016/j.compositesb.2020.107818.
4. Паймушин В.Н., Каюмов Р.А., Холмогоров С.А. Идентификация параметров реологических моделей косоугольно армированных волокнистых композитов/Труды Третьей международной конференции «Деформирование и разрушение компози- ционных материалов и конструкций». — М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. — С. 90-93, издательство: Институт компьютерных исследований, М.–Ижевск, Россия, 2018, С. 90-93 с. [Paimushin V.N., Kayumov R.A., Kholmogorov S.A. Identification of parameters of rheological models of obliquely reinforced fiber composites / Proceedings of the Third International Conference "Deformation and Fracture of Composites". International Conference "Deformation and Fracture of Composite Materials and Structures". Materials and Structures". - M.-Izhevsk: Institute of Computer Research, 2018. - P. 90-93, Publisher: Institute of Computer Research, M.-Izhevsk, Russia, 2018, P. 90-93 p.]
5. Identification of Mechanical Characteristics of a Nonlinear-Viscoelastic Composite by Results of Tests on Shells of Revolution, издательство: Springer Science+Business Media, LLC, New York, Россия, Механика композиционных материалов и конструкций, 2019, 171-180 с. https://doi.org/10.1007/s11029-019-09802-3.
6. K. Khuziakhmetova, L. Abdrakhmanova, R. Nizamov. Polymer mixtures based on polyvinyl chloride for the production of construction materials // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 169. – P. 14-21. – DOI 10.1007/978-3-030-80103-8_2. – EDN TDMAAU.
7. Hindersmann A. Confusion about infusion: An overview of infusion processes // Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing. 2019. Vol. 126. P. 55–83.

8. Zheng Y., Guo Z. Investigation of joint behavior of disk-lock and cuplok steel tubular scaffold // Journal of Constructional Steel Research. 2021. V. 177. DOI: 10.1016/J.JCSR.2020.106415.
9. Донецкий К.И. Усачева М.Н., Хрульков А.В. Методы инфузии для изготовления полимерных композиционных материалов (обзор). Часть 1 // Труды ВИАМ. 2022. № 6 (112). Ст. 06. URL: http://www.viam-works.ru. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-58-67. [Donetskiy K.I., Usacheva M.N., Khrulkov A.V. Infusion methods for the manufacture of polymer composite materials (review). Part 1. Trudy VIAM, 2022, no. 6 (112), paper no. 06. Available at: http://www.viam-works.ru. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-58-67.]
10. Хрульков А.В., Донецкий К.И., Усачева М.Н., Горянский А.Н. Методы инфузии для изготовления полимерных композиционных материалов (обзор). Часть 2 // Труды ВИАМ. 2022. № 7 (113). Ст. 05. URL: http://www.viam-works.ru. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-7-50-62. [Khrulkov A.V., Donetskiy K.I., Usacheva M.N., Goryansky A.N. Infusion methods for the manufacture of polymer composite materials (review). Part 2. Trudy VIAM, 2022, no. 7 (113), paper no. 05. URL: http://www.viam-works.ru. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-7-50-62.]
11. Руководство по проектированию и расчету строительных конструкций из пултрузионных стеклопластиковых профилей производства ООО «Татнефть-Пресскомпозит», разработанного ЦНИИСК им. Кучеренко. 2016. - С. 49. [Guidelines for design and calculation of building structures made of pultruded fiberglass profiles manufactured by Tatneft-Presscomposite LLC, developed by Kucherenko Central Research Institute of Fiberglass Structures. 2016. - P. 49.]
12. Cowper, G.R. “The Shear Coefficient in Timoshenko’s Beam Theory.” National Aeronautical Establishment, National Research Council, Ottawa, Canada, 1966.
13. Михеев П.В., Муранов А.Н., Гусев С.А. Экспериментальное определение модуля межслоевого сдвига слоистого углепласти ка // Конструкции из композиционных материалов, Номер: 4 (140) Год: 2015 С 46-50. [Mikheev P.V., Muranov A.N., Gusev S.A. Experimental determination of the interlayer shear modulus of layered carbon fiber-reinforced plastic // Structures of composite materials, Number: 4 (140), 2015 P. 46-50.]
14. Chen, C.-T.; Gu, G.X. Machine learning for composite materials. MRS Commun. 2019, 9, 556–566. DOI: 10.1557/mrc.2019.32.
15. Ramprasad, R.; Batra, R.; Pilania, G.; Mannodi-Kanakkithodi, A.; Kim, C. Machine learning in materials informatics: Recent applications and prospects. NPJ Comput. Mater. 2017, 3, 1. DOI: 10.1038/s41524-017-0056-5.
16. Karamov, R.; Akhatov, I.; Sergeichev, I.V. Prediction of Fracture Toughness of Pultruded Composites Based on Supervised Machine Learning. Polymers 2022, 14, 3619. https://doi.org/10.3390/ polym14173619.
17. Калинина, А.А. Развитие инновационного потенциала инвестиционностроительного комплекса в условиях импортозамещения / А.А. Калинина // Экономика и предпринимательство. — 2022. — № 3(140). — С. 575–581. — DOI 10.34925/EIP.2022.140.03.105. [Kalinina, A.A. Development of innovative potential of the investment and construction complex in the conditions of import substitution / A.A. Kalinina // Economics and Entrepreneurship. - 2022. - № 3(140). - P. 575-581. - DOI 10.34925/EIP.2022.140.03.105.]

Информация об авторах

Валиев Алмаз Илсурович, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: tatcomposite@mail.ru
Фарид Рашитович Шакирзянов, кандидат физико-математических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: faritbox@mail.ru

Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Низамов Рашит Курбангалиевич, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, академик Академии наук Республики Татарстан г. Казань, Российская Федерация
Email: Nizamov@kgasu.ru

Information about the authors

Almaz I. Valiev, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: tatcomposite@mail.ru
Farid R. Shakirzyanov, candidate of physical and mathematical sciences, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: faritbox@mail.ru
Alfred M. Suleymanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corr.-m. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Rashit K. Nizamov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, academic of Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
Email: Nizamov@kgasu.ru

УДК: 54.148, 666.3.016
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_255
EDN: SILMPK

Реологическое поведение формовочных масс из модифицированной кремнезолем глинозольной шихты

С.А. Шахов[1]
[1]Сибирский государственный университет путей сообщений,
г. Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи***.** Развитие производства строительной керамики связано с необходимостью поиска эффективных технологий замещения при производстве строительной керамики природного сырья производственными и бытовыми отходами. В качестве потенциального многотоннажного источника сырья в последнее время все чаще рассматриваются композиции из низкосортного глинистого сырья и зол различного происхождения. Однако неудовлетворительные реологические свойства формовочных масс из глинозольных шихт затрудняют получение качественной строительной керамики методом пластического формования. *Цель работы* заключается в оценке возможности управления реологическим поведением формовочных масс из глинозольной шихты посредством их модифицирования гидрозолем оксида кремния. *Задачами исследования* являются изучение структурной организации находящегося в водной суспензии ультрадисперсного кремнезема, а также исследование влияния гидрозоля оксида кремния на реологию глинозольных формовочных масс.
Результаты. Посредством инфракрасной спектрометрии, термического и фотоколометрического анализов, оптической и электронной микроскопии установлено, что содержащийся в водной суспензии песка после ее обработки в шаровой мельнице кремнезоль, выполняет в глинозольной шихте роль поверхностно-активного вещества, способствующего увеличению толщины адсорбционного слоя на поверхности частицы золы и суглинка. Моделирование совместного влияния суглинка, золы и кремнезоля на величину приведенных деформаций показало, что частицы SiO_2 в коллоидном состоянии, обеспечивают изменение соотношения между свободной и связанной водой, что делает формовочную массу более подвижной и деформируемой.
Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что в процессах структурообразования глинозольных масс содержащийся в водной суспензии песка кремнезоль следует рассматривать как наноструктурированную добавку способную эффективно влиять на реологическое поведение формовочных масс и активировать процессы структурообразования при получении строительной керамики.

Ключевые слова: суглинок, зола, строительная керамика, формовочная масса, реология, кремнезоль, фильтрат

Для цитирования: Шахов С.А. Реологическое поведение формовочных масс из модифицированной кремнезолем глинозольной шихты // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 255-266, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_255, EDN: SILMPK

Rheological behavior of molding compounds from silica modified clay-ash mixture

S.A. Shakhov[1]
[1]Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. The development of the production of building ceramics is associated with the need to find effective technologies for replacing natural raw materials with industrial and household waste in the production of building ceramics. Compositions made from low-grade clay raw materials and ashes of various origins have recently been increasingly considered as a potential large-scale source of raw materials. However, the unsatisfactory rheological properties of molding compounds from clay-ash mixtures make it difficult to obtain high-quality building ceramics by plastic molding. The purpose of the work is to evaluate the possibility of controlling the rheological behavior of molding compounds from a clay-ash mixture by modifying them with silicon oxide hydrosol. The objectives of the research are to study the structural organization of ultrafine silica in an aqueous suspension, as well as to study the effect of silicon oxide hydrosol on the rheology of clay-ash molding compounds.
*Results***.** Through infared spectrometry, thermal and photocolometric analyses, optical and electron microscopy, it was established that silica sol contained in an aqueous suspension of sand after its processing in a ball mill plays the role of a surfactant in the clay-ash mixture, contributing to an increase in the thickness of the adsorption layer on the surface of ash and loam particles. Modeling of the combined influence of loam, ash and silica sol on the magnitude of the given deformations showed that SiO2 particles in a colloidal state provide a change in the ratio between free and bound water, which makes the molding mass more mobile and deformable.
*Conclusions***.** The significance of the results obtained for the construction industry is that in the processes of structure formation of clay-ash masses, silica sol contained in an aqueous suspension of sand should be considered as a nanostructured additive capable of effectively influencing the rheological behavior of molding masses and activating the processes of structure formation in the production of building ceramics.

Keywords: loam, ash, building ceramics, molding mass, rheology, silica sol, filtrate

For citation: Shakhov S.A. Rheological behavior of molding compounds from silica modified clay-ash mixture // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 255-266, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_255, EDN: SILMPK

1. Введение

Ограниченные запасы качественного глинистого сырья, требования по ресурсосбережению и защите окружающей среды приводят к необходимости поиска эффективных технологий замещения при производстве строительной керамики природного сырья производственными и бытовыми отходами. К числу многотоннажных производственных отходов относятся золы. Выполненные в последние годы исследования показывают возможность использования различных зол в качестве сырьевого компонента при получении керамического кирпича методом полусухого прессования [1-3]. Вместе с тем, разработанные составы глинозольных шихт в виду неудовлетворительных реологических характеристик формовочных масс не позволяют получить качественный керамический кирпич методом пластического формования, на который с ориентированы большинство заводов по производству стеновой керамики в Российской Федерации, [4-6].

Реологию формовочных масс можно регулировать с помощью различных модифицирующих добавок [7-9]. Введение в состав шихты таких добавок за счет изменения характера процессов, протекающих на межфазной поверхности частиц, может способствовать улучшению структурно-механических характеристик формовочных масс. Вместе с тем такие добавки зачастую отрицательно влияют на процесс спекания и

структурно-механические свойства керамического материала, что является нежелательным явлением.

Другое направление решения задачи управления реологией формовочных масс развиваемое в последние годы связано с наномодифицированием алюмосиликатов. В литературе имеются сведения о применении для этих целей золей оксидов кремния и алюминия [10-12]. Использование гидрозолей оксидов кремния и алюминия позволяет регулировать структуру глинистых суспензий, корректировать параметры системы и в итоге улучшать структурно-механические характеристики формовочных масс и характеристики керамического материала. В работе [13] в процессе изучения влияния наномодификатора на силикатную систему показано увеличение структурной прочности материала. Полученный эффект авторы связывают с частичным взаимодействием (сополимеризацией) органического (полиэфира) и неорганического (кремнезема) компонентов в контактной зоне. В литературе также описаны эксперименты по улучшения формовочных свойств посредством модификации структуры с помощью высококонцентрированной керамической вяжущей суспензией (ВКВС) [14].

Учитывая вышеприведенные данные, представляется целесообразным проверить действие гидрозолей оксидов кремния, на реологию глинозольных формовочных масс.

Цель работы: оценка возможности управления реологическим поведением формовочных масс из глинозольной шихты посредством наномодифицирования гидрозолем оксида кремния.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучена структурная организация находящегося в водной суспензии ультрадисперсного кремнезема;
- исследовано влияние гидрозоля оксида кремния на реологию глинозольных формовочных масс.

2. Материалы и методы

Для исследований использовались суглинок Камышенского месторождения (Новосибирская область) и зола от сжигания осадка бытовых сточных вод (МУП «Водоканал» г. Новосибирск). Минеральный состав суглинка и золы ОБСВ приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав минеральной части суглинка и золы

Компонент шихты	Содержание основных оксидов, мас.%						Потери при прокаливании сверх 100%
	SiO_2	$A1_2O_3$	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	
суглинок	68,70	11,78	4,10	4,76	1,68	3,60	5,62
зола ОБСВ	53,9	10,6	5,4	6,2	1,9	3,1	44,7

В качестве наномасштабного модификатора в работе использовали содержащий кремнезоль фильтрат, полученный в лабораторных условиях из речного песка (карьер Марусино, Новосибирская обл.). Характеристики использованного в работе песка представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика используемого песка

Исполь-зуемый песок	Содержание глинистых и илистых примесей, %	Истинная плотность, кг/м^3	Насыпная плотность, кг/м^3	Пустот-ность, %	Модуль крупности $М_к$
речной	2,3	2481	1279	48,45	1,305

Дисперсная система из 10 масс. % песка и 90 масс. % дистиллированной воды, обрабатывалась в шаровой мельнице (мелющие тела из оксида алюминия) в течение 3 часов. Для более полного протекания процессов растворения кремнезема, и образования монокремниевой кислоты с последующей ее полимеризацией суспензию выдерживали в течение 3 суток, а затем пропускали через фильтр для отделения фракции с диаметром частиц более 5 мкм. Элементный состав, полученного фильтрата, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Элементные состав фильтрата дисперсной системы после измельчения

Элемент						
O	Si	Al	Ca	Mg	Na	K
73%	25,5	0,50%	0,22%	0,53%	0,25%	0,33%

Для изучения совместного влияния соотношения компонентов на структурно-механические свойства формовочной массы использовали математическое планирование эксперимента. Построение матрицы полнофакторного эксперимента и статистическая обработка полученных данных осуществлялась в соответствии с методикой [15]. Значения упругой, эластичной и пластической деформации определялись на установке, работающей по принципу параллельно-смещающейся пластинки (прибор Д. М. Толстого). В соответствии с матрицей планирования подготовлено и изучено 9 серий образцов.

3. Результаты и обсуждение

Известно, что ультрадисперсный кремнезем представляет собой полидисперсную систему с высокоразвитой межзерновой поверхностью. На присутствие в дисперсионной среде (фильтрате) частиц SiO_2 в ультрадисперсном состоянии указывает наличие на представленной на рис. 1 ИК-спектрограмме полос с частотой колебаний 1200 $см^{-1}$ и 1090 $см^{-1}$ характерных связей Si-O.

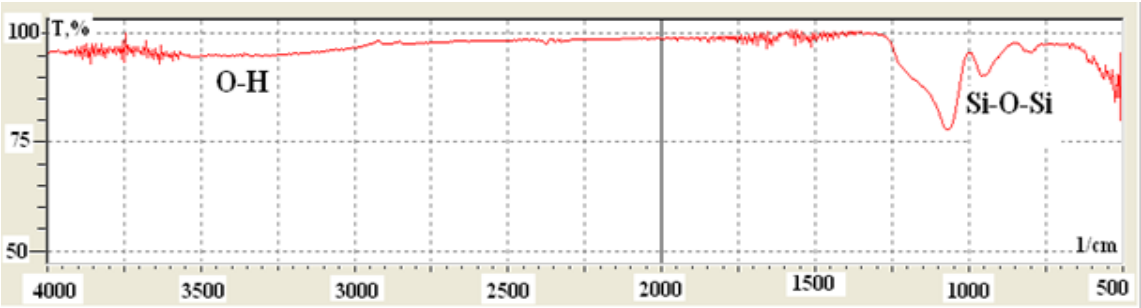


Рис. 1. ИК-спектр фильтрата (иллюстрация автора)
Fig. 1. IR spectrum of the filtrate (illustration by the author)

С целью установления структурной организации находящегося в водной суспензии песка ультрадисперсного кремнезема была определена оптическая плотность фильтрата после его подкисления или подщелачивания. При добавлении соляной кислоты до pH 4 показатель оптической плотности не отличался от фонового. Рост оптической плотности, обусловленный образованием коллоидного осадка, отмечен при добавлении гидроксида натрия вплоть до pH 10 (рис. 2).

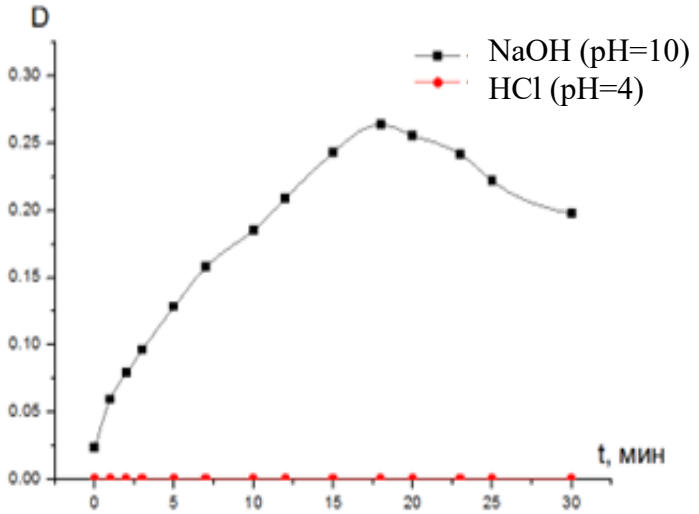
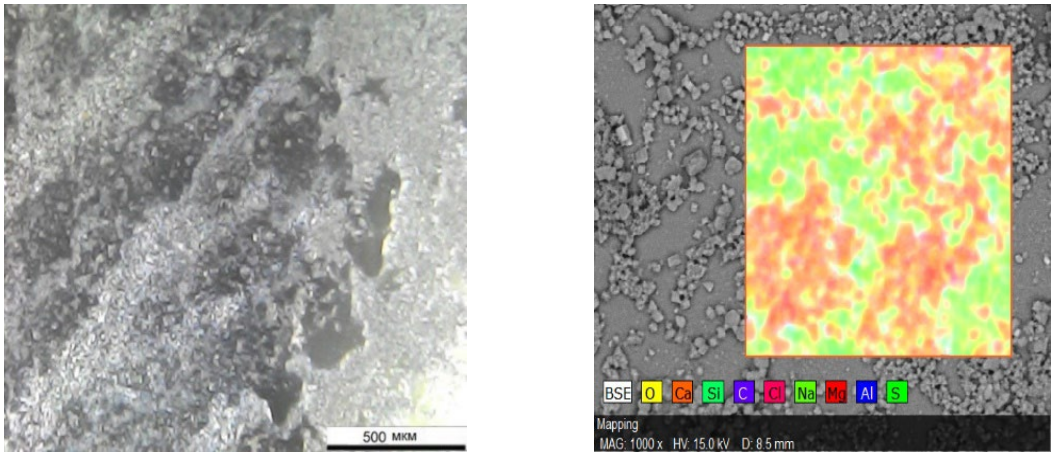


Рис. 2. Нефелометрические кривые после добавления в фильтрат NaOH и HCl (иллюстрация автора)

Fig. 2. Nephelometric curves after adding NaOH and HCl to the filtrate (illustration by the author)



а) б)

Рис. 3. Оптическая (а) и электронная (б) микроскопия частиц, образующихся после сушки фильтрата (NaOH) при температуре 110ºС (иллюстрация автора)

Fig. 3. Optical (a) and electron (b) microscopy of particles formed after drying of the filtrate (NaOH) at a temperature of 110°C (illustration by the author)

В результате сушки фильтрата с NaOH в сушильном шкафу при температуре 110ºС на лабораторном стекле, наблюдалось образование белого налета белого (рис. 3), который составлял порядка 0,4% от массы фильтрата и был идентифицирован как силикат натрия.

Известно [16], что при взаимодействии кремнезема с водой на поверхности частиц SiO_2 происходит образование монокремниевой кислоты диссоциирующей на ионы:

$$[H_2SiO_3] \leftrightarrow SiO_3^{2-} + 2H^+$$

Стремление вновь образованной химической системы к снижению поверхностной энергии вызывает «старение» монокремниевой кислоты (H_2SiO_3), что в свою очередь приводит к образованию новой фазы в виде гидрозоля. Структурированию и образованию неорганического полимера способствует избыток ионов H^+ в дисперсионной среде осадка, как в слабой кислоте (pH 4,0—6).

Строение частицы SiO_2 в коллоидном состоянии в форме мицеллы можно представить в виде следующей схемы (рис. 4).

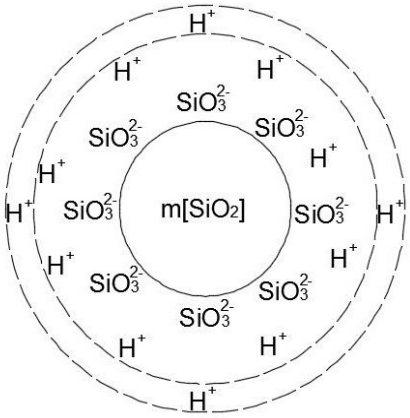
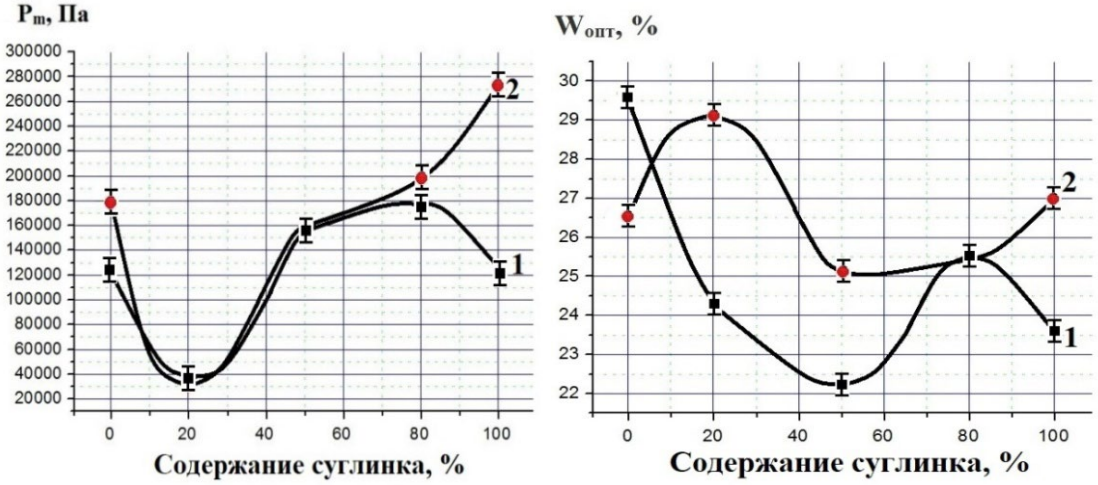


Рис. 4. Схема строение частицы гидрозоля диоксида кремнияSiO_2 (иллюстрация автора)
Fig. 4. Scheme of the structure of a particle of silicon dioxide hydrosol SiO_2 (illustration by the author)

Пленка геля кремнезема в свою очередь способствует связи частиц SiO_2 с другими частицами и между собой с образованием грубодисперсных агрегатов.

На рис. 5 представлены результаты экспериментальных исследований, показывающие влияние фильтрата на изменение пластической прочности и оптимальной формовочной влажности для формовочных масс из шихты с разным соотношением суглинка и золы.



а) б)

Рис. 5. Зависимость пластической прочности, P_m Па (а) и оптимальной формовочной влажности $W_{опт}$ (б) шихт на основе ОБСВ от содержания в шихте суглинка, %: 1 - без добавки фильтрата; 2 - с добавкой фильтрата (0,1 масс.% кремнезоля в пересчете на сухое вещество) (иллюстрация автора)
Fig. 5. Dependence of plastic strength, Pm Pa (a) and optimal molding moisture content Wopt (b) of charges based on SSWM on the content of loam in the charge, %: 1 - without filtrate addition; 2 - with the addition of filtrate (0.1 wt.% silica sol in terms of dry matter) (illustration by the author)

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что добавка фильтрата оказывает заметное влияние на пластическую прочность только для составов с содержанием суглинка в пределах 0-10% и 70-100%. Рост значений пластической прочности у этих формовочных масс, по-видимому, связан с изменением соотношения между находящейся в шихте кинетически свободной и связанной водой. При этом увеличение для большинства составов оптимальной формовочной влажности до 4 % свидетельствует о недостаточном количестве свободной воды в дисперсной системе из-за перевода части воды в связанное состояние.

Для оценки влияния фильтрата на реологию формовочных масс было выполнено в соответствии с ортогональным планом второго порядка моделирование совместного

влияния компонентов шихты на величину приведенных деформаций. В качестве переменных полнофакторного эксперимента (ПФЭ) 3^2 были приняты: x_1 – содержание суглинка, %; x_2 – содержание фильтрата осадка промывных вод, масс. %. За параметры оптимизации приняты доли приведенных пластических и эластических деформаций. В соответствии с экспериментальным планом испытано 9 серий образцов. Модели строились в виде уравнений полинома 2 степени.

$$e_{эл} = 19{,}39 + 9{,}47 * x_1 + 5{,}07 * x_2 - 14{,}55 * (x_1^2 - 0.67) - 7{,}82 * (x_2^2 - 0.67) \quad (1)$$

$$e_{пл} = 43{,}45 + 15{,}53 * x_1 - 4{,}85 * x_2 + 12{,}50 * (x_1^2 - 0.67) \quad (2)$$

По результатам статистической обработки на основе математических моделей были построены поверхности отклика приведенных эластичных и пластических деформаций (рис. 6).

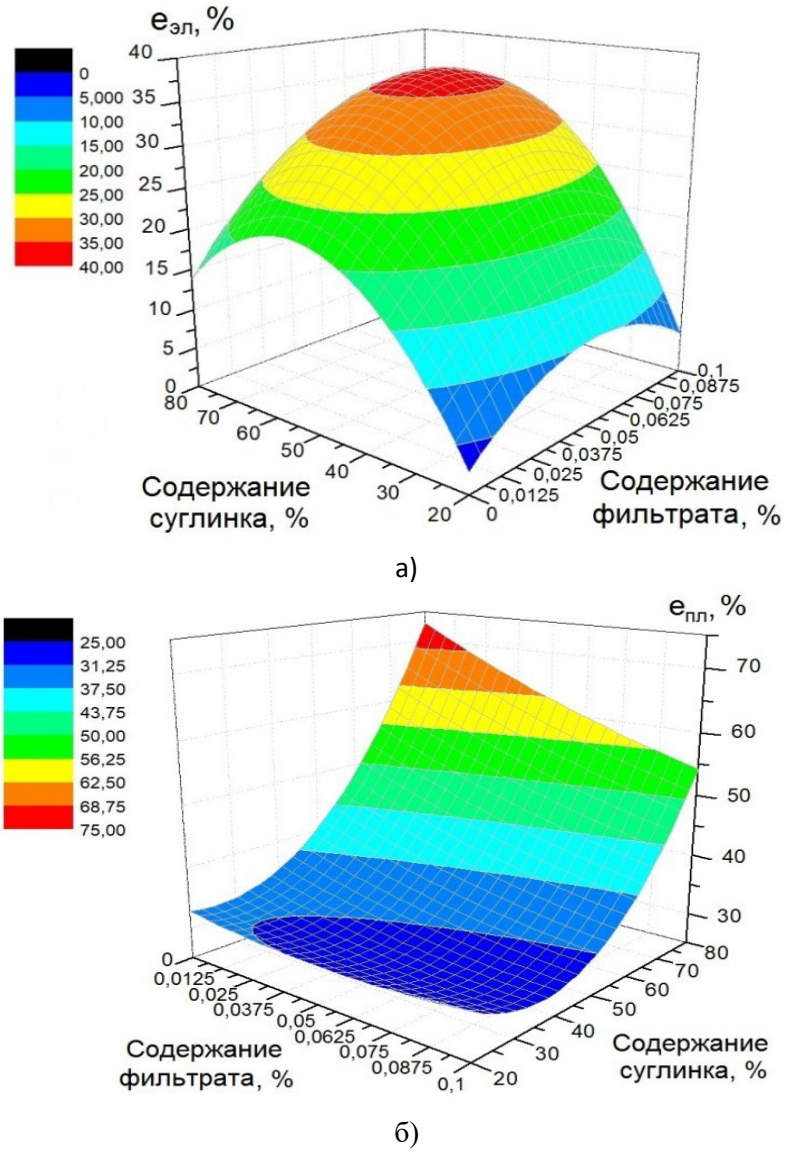
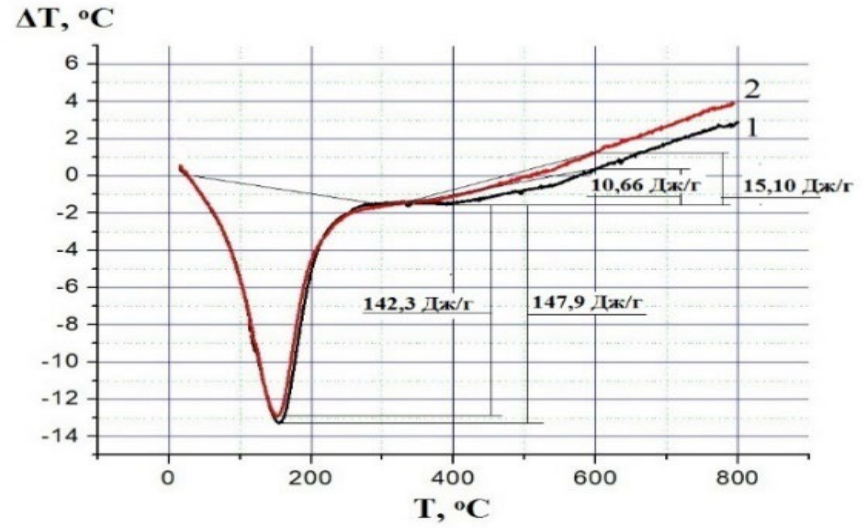


Рис. 6. Поверхности отклика приведенных эластических деформаций формовочных масс ($e_{эл}$, %) и приведенных пластических деформаций формовочных масс ($e_{пл}$, %) от содержания добавок суглинка и фильтрата, % (иллюстрация автора)

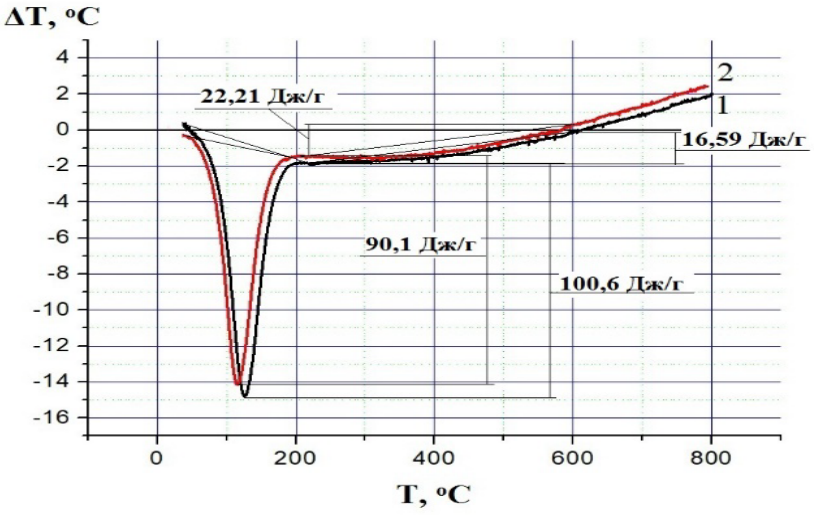
Fig. 6. Response surfaces of the reduced elastic deformations of the molding masses (e_el, %) and the reduced plastic deformations of the molding masses (e_pl, %) on the content of loam and filtrate additives, % (illustration by the author)

Изменения в деформационном поведении формовочных масс, по-видимому, обусловлены образованием, коагуляционной структуры, в которой частицы кремнезоля обволакивая более крупные частицы, способствуют не только изменению характера контакта между последними, но и изменению соотношения между кинетически

свободной и кинетически связанной водой. В пользу последнего утверждения свидетельствуют результаты дифференциально-термического анализа представленные на рис. 7. При введении фильтрата, как для суглинка, так и для золы ОБСВ наблюдается некоторое снижение величин эндоэффектов, что свидетельствует об изменении соотношения свободной и связанной воды в сторону последней.



а)



б)

Рис. 7. ДТА-кривые суглинка (а) ДТА-кривые золы ОБСВ (б) затворенных водой (1) и затворенных водой с добавлением фильтрата (2) (иллюстрация автора)

Fig. 7. DTA-curves of loam (a) DTA-curves of ash SSWM (b) mixed with water (1) and mixed with water with the addition of filtrate (2) (illustration by the author)

Известно, что одним из способов управления свойствами шихты является использование поверхностно-активных веществ [5,9,17]. Сорбируясь на поверхности частиц, молекулы ПАВ изменяют гидрофильность такой поверхности и принимают участие в образовании коагуляционных связей, что качественно изменяет характер контактов.

Учитывая вышесказанное было высказано предположение о том, что находящийся в фильтрате кремнезоль применительно к золе и суглинку может выступать в качестве ПАВ, позволяющего модифицировать поверхность усилить или наоборот ослабить гидрофильность поверхности дисперсной фазы. Для проверки этой гипотезы были определены интегральные теплоты смачивания и рассчитаны соответствующие коэффициент фильности у золы и суглинка без добавки и с добавкой кремнезоля.

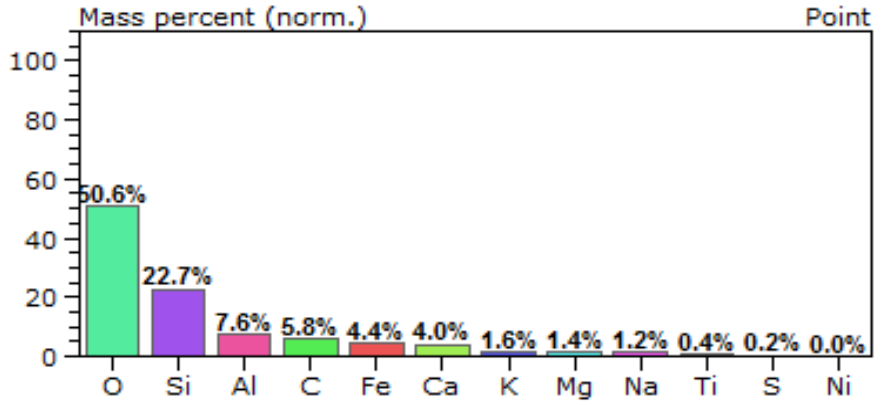
Полученные результаты (табл. 4) подтверждают сделанное предположение: введение кремнезоля действительно дополнительно усиливает гидрофильность поверхности.

Таблица 4

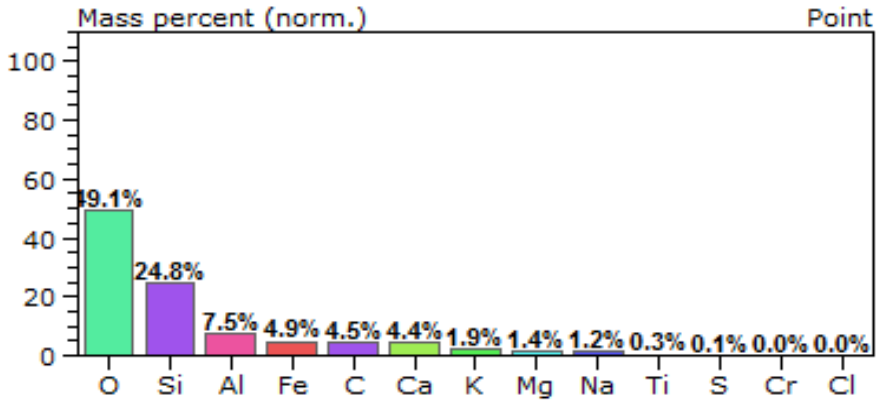
Изменение коэффициентов лиофильности суглинка и золы ОБСВ после модифицирования фильтратом (0,1 масс.% кремнезоля в пересчете на сухое вещество)

Дисперсная фаза	Дисперсионная среда	Разность температур, °С	$Q_{инт}$, Дж/г	Коэффициент фильности
Суглинок	Вода	0,2844	9,6187	1,758
Суглинок	Бензол	0,4877	5,47	
Суглинок модифицированный	Вода	0,621	21,003	2,808
Суглинок модифицированный	Бензол	0,66675	7,478	
Зола ОБСВ	Вода	0,2065	6,98	2,912
Зола ОБСВ	Бензол	0,2138	2,39	
Зола ОБСВ модифицированная	Вода	0,03911	1,3227	6,085
Зола ОБСВ модифицированная	Бензол	0,01938	0,2174	

В пользу такого вывода говорят и данные элементного анализа поверхности частиц формовочной массы с 50%-м содержанием золы: наблюдается увеличение количества кремния на поверхности частиц, после введения фильтрата (рис. 8).



а)



б)

Рис. 8. Элементный состав шихт: а – «50% золы ОБСВ:50% суглинка»; б – «50% золы ОБСВ:50% суглинка: фильтрат (0,1 масс.% кремнезоля в пересчете на сухое вещество)» (иллюстрация автора)

Fig. 8. Elemental composition of the charge: a - "50% ash BSV: 50% loam"; b - "50% ash SSW: 50% loam: filtrate (0.1 wt.% silica sol in terms of dry matter)" (illustration by the author)

Кинетика взаимодействий химических систем зависит от величины энергии активации, определяющейся свободной энергией частиц твердой фазы [18]. С учетом этого выявить механизм и физико-химическую сущность действия находящегося в составе фильтрата кремнезоля можно посредством оценки его влияния на величину поверхностного натяжения.

Для измерения значений поверхностного натяжения дисперсионной среды (фильтрата) были выбраны: вода, керосин, изопропиловый спирт. Представленные в таблице 5 результаты экспериментов показывают, что дисперсионная среда водной суспензии песка (фильтрат) снижает поверхностное натяжение и тем самым проявляет свойства характерные для поверхностно-активных веществ.

Таблица 5

Значения поверхностных натяжений, эрг/см^2

Граница	Поверхностное натяжение, эрг/см^2
Вода-керосин	47,50
Фильтрат - керосин	38,61
Изопропиловый спирт (0,03 моль /л) - керосин	39,98

Таким образом, полученные результаты позволяют заключить, что содержащийся в обработанной в шаровой мельнице суспензии песка кремнезоль выполняет роль поверхностно-активного вещества, облегчающего процесс смачивания водой поверхности частиц золы и суглинка, усиливающего тем самым ее гидрофильные свойства и обеспечивающего изменение соотношения между свободной и связанной воды. При этом преобладание с увеличением содержания кремнезоля коагуляционных связей, приводит к контактированию сорбционных оболочек вокруг частиц, а не непосредственно поверхностей последних. Это делает структуру массы более подвижной и деформируемой, о чём свидетельствуют увеличение значений модулей упругости и эластичности, а также снижение пластической прочности формовочной массы. Поэтому, в процессах структурообразования поверхностно-активные вещества в виде кремнезоля будут интенсифицировать возникновение коагуляционной структуры и обеспечат возможность управления количеством и соотношением свободной и связанной воды. Это позволяет рассматривать содержащую кремнезоль дисперсионную среду суспензии песка как наноструктурированную добавку потенциально способную активировать процессы структурообразования на различных технологических стадиях получения строительной керамики.

4. Заключение

1. Наличие после обработки в шаровой мельнице в дисперсионной среде водной суспензии песка коллоидной составляющей в виде кремнезоля позволяет рассматривать фильтрат такой суспензии как наноструктурированную добавку потенциально способную активировать процессы структурообразования на различных технологических стадиях получения строительной керамики.

2. Находящийся в фильтрате кремнезоль применительно к золе и суглинку

- выполняет роль ПАВ, облегчающего процесс смачивания, что позволяет усилить гидрофильность поверхности дисперсной фазы;

- обеспечивает образование коагуляционной структуры, в которой частицы SiO_2 в коллоидном состоянии, обволакивая более крупные частицы способствуют увеличению толщины адсорбционного слоя на поверхности таких частиц, что приводит к изменению соотношения между свободной и связанной водой, а соответственно и к изменению в деформационном поведении глинозольных формовочных масс.

Список литературы / References

1. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций. // Проблемы региональной экологии. 2019. №4. С. 75-87. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077 [Pichugin E.A. Analytical review of the experience accumulated in

the Russian Federation of involving ash and slag waste from thermal power plants into economic circulation. // Problems of regional ecology. 2019. No. 4. P. 75-87 DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077]

2. Д.В. Макаров Д.В., Мелконян Р.Г., Суворова О.В., Кумарова В.А. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов //Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 254–281. [D.V. Makarov D.V., Melkonyan R.G., Suvorova O.V., Kumarova V.A. Prospects for the use of industrial waste for the production of ceramic building materials // Mining Information and Analytical Bulletin. 2016. No. 5. P. 254–281.]
3. Мальчик А.Г., Литовкин С.В., Родионов П.В. Исследование технологии переработки золошлаковых отходов ТЭС при производстве строительных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3-1. С. 60-64. [Malchik A.G., Litovkin S.V., Rodionov P.V. Study of technology for processing ash and slag waste from thermal power plants in the production of building materials // Modern science-intensive technologies. 2016. No. 3-1. P. 60-64.]
4. Rheological properties of sewage sludge ash ceramic masses Shakhov S.A., Nikolaev N.Yu. Journal of Physics: Conference Series. 1. "Advanced Trends in Civil Engineering 2021, ATCE 2021", Vol. 2124. IOP Publishing Ltd. P. 012002
5. Ильин, А. П. Физико-химическая механика в технологии катализаторов и сорбентов: Монография / Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2004. 316 с. [Ilyin A.P., Prokofiev V.Yu. Physical and chemical mechanics in the technology of catalysts and sorbents: Monograph / Ivanovo state chemical technological university. Ivanovo, 2004. 316 p.]
6. Ozkan N., Oysu C., Briscoe B. J., Aydin I. Rheological analysis of ceramic pastes // J. European Ceramic Society. 1999. Vol. 19, 16. P.2883-2891.
7. Мавлянов А.С., Сардарбекова Э.К. Улучшение реологических свойств керамических масс путем комплексной активации сырья Вестник СибАДИ Том 16, № 3. 2019. Сквозной номер выпуска 67 С.343-351. [Mavlyanov A.S., Sardarbekova E.K. Improving the rheological properties of ceramic masses through complex activation of raw materials Vestnik SibADI Vol. 16, No. 3. 2019. Continuous issue number 67 P.343-351.]
8. Шахов С.А. Николаев Н.Ю. Улучшение формуемости керамических масс на основе пылеватых суглинков введением композиционной высокодисперсной добавки Техника и технология силикатов. 2017. Т. 24. № 2. С. 7-13. [Shakhov S.A. Nikolaev N.Yu. Improving the formability of ceramic masses based on silty loams by introducing a highly dispersed composite additive. Engineering and technology of silicates. 2017. T. 24. No. 2. P. 7-13.]
9. Rehman, M. Ul. Influence of fluxing oxides from waste on the production and physico-mechanical properties of fired clay brick: A review / M. Ul. Rehman, M. Ahmad, K. Rashid // Journal of Building Engineering. – 2020. – № 27. P.79-87.
10. A. Khantimirov, L. Abdrakhmanova, V. Khozin, R. Nizamov. Modification of Wood-Polymer Composites with Silica Sols of Different Nature // Proceedings of STCCE : International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 2022 : Lecture Notes in Civil Engineering, Kazan, 21–29 апреля 2022 года. Vol. 291. – Switzerland: Springer Nature, 2022. – P. 201-208. – DOI 10.1007/978-3-031-14623-7_17. – EDN UNBTYI.
11. Qian, Y. Enhancing thixotropy of fresh cement pastes with nanoclay in presence of polycarboxylate ether superplasticizer (PCE) / Y. Qian, G. De Schutter // Cem. Concr. Res. – 2018. № 111. P.15–22.
12. Артамонова О.В. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 6. Получение наномодифицированных термально-синтезных систем твердения для конструкционной и функциональной керамики специального назначения // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 98–104. [Artamonova O.V. Concepts and foundations of technologies for nanomodification of building composite structures. Part 6. Preparation of nanomodified thermal-synthetic

hardening systems for structural and functional ceramics for special purposes // Construction materials. 2017. No. 5. P. 98–104.]
13. Женжурист, И.А. Перспективные направления наномодифицирования в строительной керамике / И.А. Женжурист // Строительные материалы. 2014. № 4. С. 36-39. [Zhenzhurist, I.A. Perspective directions of nanomodification in building ceramics / I.A. Zhenzhurist // Construction materials. 2014. No. 4. P. 36-39.]
14. Fonseca, A.S. Process-generated nanoparticles from ceramic tile sintering: Emissions, exposure and environmental release / A.S. Fonseca, A. Maragkidou, M. Viana, X. Querol, K. Hämeri, I. de Francisco, C. Estepa, C. Borrell, V. Lennikov // Science of the Total Environment. 2016. № 565. P.922–932.
15. Косенко, Е.А. Планирование эксперимента (в машиностроении): учебно-методическое пособие / Е.А. Косенко. // М.: МАДИ, 2023. 56с. [Kosenko, E.A. Planning an experiment (in mechanical engineering): educational and methodological manual / E.A. Kosenko. // M.: MADI, 2023. 56 p.]
16. Айлер, Р.К. Коллоидная химия кремнезема и силикатов // Р.К. Айлер. Москва: Госстройиздат, 1959. 288 с. [Ayler, R.K. Colloidal chemistry of silica and silicates / R.K. Ayler. Moscow: Gosstroyizdat, 1959. 288 p.]
17. Kocak, A. Differences Between Dry and Wet Route Tile Production / A. Kocak, B. Karasu // El-Cezeri Journal of Science and Engineering. 2019. №6. P.8-23.
18. Урьев, Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы / Н.Б. Урьев. Москва: Химия, 1980. 319 с. [Uriev, N.B. Highly concentrated disperse systems / N.B. Uriev. Moscow: Chemistry, 1980. 319 p.]

Информация об авторах

Шахов Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, г.Новосибирск, Российская Федерация
E-mail sashakhov@mail.ru

Information about the authors

Sergey A. Shakhov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russian Federation
E-mail sashakhov@mail.ru

УДК: 691.1
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_267
EDN: UDCGYP

Битумное вяжущее, модифицированное полисульфидом на основе смеси алифатических аминов и высших жирных кислот

А.А. Хомяков[1], А.Ю. Фомин[1], Р.К. Низамов[12]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* В условиях высоких транспортных нагрузок на дорожные покрытия становится необходимым применение более долговечных асфальтобетонов. Достичь этого можно путем внедрения асфальтобетонов, устойчивых к пластическим и низкотемпературным деформациям. Подобными свойствами обладают асфальтобетоны на битумполисульфидных вяжущих. Однако, для достижения требуемого эффекта, количество полисульфида, вводимого в битум, должно составлять до 40% от массы. Цель работы заключается в разработке состава органического полисульфида на основе серы, высших жирных кислот и аминов, способного повышать технические характеристики битума при его введении в битум в количестве 5-10 масс.%. Задачами исследования являются: подбор состава органического полисульфида; синтез органического полисульфида; исследование свойств битумных вяжущих, модифицированных органическим полисульфидом.
Результаты. В работе представлены результаты исследований битума, модифицированного органическим полисульфидом на основе серы, полиаминов и высших жирных кислот. Исследована структура органических полисульфидов. Методом оптической и электронной микроскопии установлено, что полученные полисульфиды имеют кристаллическую структуру.
Выводы. Установлено, что модификация дорожного битума полисульфидом на основе серы, полиаминов и высших жирных кислот в количестве 5% позволяет повысить температуру размягчения, а также адгезию битумного вяжущего к минеральному материалу.

Ключевые слова: амины, сера, высшие жирные кислоты, полисульфиды, нефтяной битум, температура размягчения, температура хрупкости, адгезия

Для цитирования: Хомяков А.А., Фомин А.Ю., Низамов Р.К. Битумное вяжущее, модифицированное полисульфидом на основе смеси алифатических аминов и высших жирных кислот // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 267-274, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_267, EDN: UDCGYP

Bituminous binder modified with polysulfide based on the mixture of aliphatic amines and higher fatty acids

A.A. Khomyakov[1], A.Y. Fomin[1], R.K. Nizamov[12]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Statement of the problem.* In conditions of high traffic loads on road surfaces, the use of more durable asphalt concrete becomes necessary. This can be achieved by introducing asphalt concretes that are resistant to plastic and low-temperature deformations. Asphalt

concretes made with bitumen-polysulfide binders have similar properties. However, to achieve the required effect, the amount of polysulfide introduced into bitumen should be up to 40% by weight. The purpose of the work is to develop a composition of organic polysulfide based on sulfur, higher fatty acids and amines, capable of increasing the technical characteristics of bitumen when introduced into bitumen in an amount of 5-10 wt.%. The objectives of the study are the selection of the composition of organic polysulfide; synthesis of organic polysulfide; study of the properties of bitumen binders modified with organic polysulfide.
Results. The work presents the results of studies of bitumen modified with organic polysulfide based on sulfur, polyamines and higher fatty acids. The structure of organic polysulfides has been studied. Using optical and electron microscopy, it was established that the resulting polysulfides have a crystalline structure.
Conclusions. It has been established that modification of road bitumen with polysulfide based on sulfur, polyamines and higher fatty acids in the amount of 5% allows increasing the softening temperature, as well as the adhesion of the bitumen binder to the mineral material.

Keywords: amines, sulfur, higher fatty acids, polysulfides, petroleum bitumen, softening point, brittleness point, adhesion

For citation: Khomyakov A.A., Fomin A.Y., Nizamov R.K. Bituminous binder modified with polysulfide based on the mixture of aliphatic amines and higher fatty acids // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 267-274, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_267, EDN: UDCGYP

1. Введение

В асфальтобетонах, спроектированных по объемно-функциональному методу, предъявляются высокие требования к модифицированным битумным вяжущим. Исследованием модифицированных битумов занимались многие отечественные и зарубежные ученые, а самыми распространенными модификаторами для битумов являются полимеры на основе стирол-бутадиен-стирола (СБС) и дивинилстирольного термоэластопласта (ДСТ), а также их производных. Так, основными эффектами модификации битумов полимерами являются увеличение температуры размягчения и пенетрации, повышение адгезионных свойств и эластичности, повышение низкотемпературных свойств, а также деформативности и трещиностойкости асфальтобетонов. Результаты исследований структуры и свойств битумов, модифицированных термоэластопластами (ТЭП) СБС и ДСТ подробно изложены в работах многих отечественных и зарубежных авторов.

В работе Бигловой Р. З. [1] показана возможность повышения адгезионных свойств битума марки БНД 90/130, модифицированного 1-10 масс.% ДСТ, предварительно растворенного в некондиционном бензине, с температурой кипения 80-110°С, к поверхности минеральных материалов. В результате модификации битумов смесевым ТЭП, представляющим собой смесь полиэтилена высокого давления, этилен-пропиленового каучука тройного и изопренового каучука установлено повышение показателя пенетрации, улучшение низкотемпературных свойств, а также повышение температуры размягчения битума с 50°С до 67°С при концентрации модификатора 4%. Также отмечено повышение прочности асфальтобетона на 40-60%, снижение водонасыщения и увеличение коэффициента водостойкости [2]. Известна модификация нефтяных битумов нефтяных битумов вторичными полимерами [3], а в работах [4-5] показана модификация битума СБС сополимерами, в полибутадиеновом фрагменте которых имеются боковые винильные группы. Введение СБС с выжимкой оливкового масла [6] позволяет повысить эластичность битума, температуру размягчения – до 60оС, снизить пенетрацию, тем самым расширить температурный интервал эксплуатации битума – от +82°С до -22°С. Известны способы модификации дорожного битума 1-7% полипропилена [7-8], что позволяет увеличить температуру размягчения с 51 до 71°С, снизить температуру хрупкости от -25 до -34°С. Ведение в нефтяной битум биополимеров на основе целлюлозы в количестве 5-10 масс. % повышает термомеханические характеристики битума, температуру размягчения и модуль деформации битума G* [9-10].

Во всех случаях показано увеличение температуры размягчения, уменьшение глубины проникания иглы, что говорит о возрастании вязкости и упрочнении структуры битумных вяжущих и расширении температурного интервала эксплуатации битумов.

Известно, что эффективными свойствами с высокомолекулярными полимерами обладают органические полисульфиды (ОПС), введение которых в битум позволяет получить битумполисульфидные вяжущие, подобные по свойствам битумполимерным вяжущим, с повышенной температурой размягчения и низкой температурой хрупкости. Асфальтобетон на битумполисульфидном вяжущем также устойчив к колееобразованию [11-12]. Однако, ввиду относительно малой длины макромолекул полисульфидов, они классифицируются как олигомеры, и для достижения значимого эффекта модификации ими битума требуется введение значительной дозировки ОПС в состав вяжущего – порядка от 25% до 40% от массы битума.

Известно, что алифатические амины обладают способностью повышать адгезионные свойства битума за счет высокой реакционной способности аминогрупп, в связи с чем их используют в составе адгезионных присадок, в том числе со смесью жирных кислот [13-15], проводя их предварительную сополимеризацию.

Учитывая реакционную способность высших жирных кислот и их возможность сополимеризации с серой и алифатическими аминами, мы полагаем, что сополимеризация компонентов – серы, флотогудрона и полиэтиленполиаминов, позволит получить полисульфиды нового состава, обладающие более высокой молекулярной массой и термопластическими свойствами, эластичностью и высокой теплостойкостью. Более высокая молекулярная масса позволит производить модификацию битумов меньшими дозировками органического полисульфида, в количестве 5-10 масс.%.

Целью работы является разработка и исследование свойств органического полисульфида и битумполисульфидного вяжущего нового состава на его основе. Задачами исследования являются: подбор состава и исследование структуры органического полисульфида на основе серы, полиаминов и высших жирных кислот; подбор состава битумполисульфидного вяжущего и исследование его физико-механических показателей – температуры размягчения, температуры хрупкости и степени сцепления с поверхностью минерального материала.

2. Материалы и методы

Для проведения исследований выбран нефтяной дорожный битум марки БНД 70/100, техническая сера, смесь высших жирных кислот (флотогудрон) и полиэтиленполиамин (ПЭПА).

Синтез органического полисульфида (рис. 1) производился путем равномерного перемешивания исходных компонентов при температуре 140-150^{o}C. Сначала в течение часа проводили смешение полиэтиленполиаминов и высших жирных кислот, по истечении которого в смесь добавляли расплав серы и перемешивали еще в течение 3,5 часов.

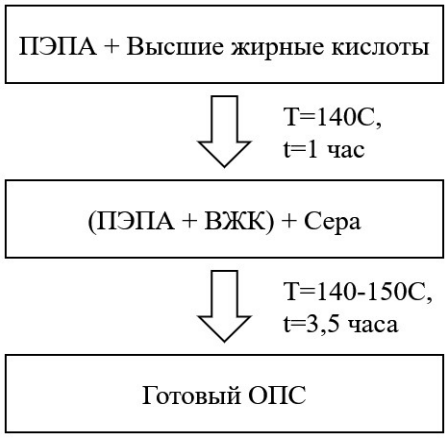


Рис. 1. Блок-схема синтеза органических полисульфидов на основе серы, аминов и высших жирных кислот (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Flowchart for the synthesis of organic polysulfides based on sulfur, amines and higher fatty acids (illustration by the authors)

По окончании синтеза, полисульфид охлаждали до комнатной температуры. Полученная масса представляла собой высоковязкий материал, хрупкий и способный к измельчению. При температуре 140-150°С преобразуется в менее вязкий материал с визуальным проявлением эластических свойств. Поэтому до введения в битум ОПС дробили до частиц с размером 1-5 мм.

Структура полисульфида исследована методами оптической и электронной микроскопии с построением спектра элементного анализа (рис. 2-3). Для оптической микроскопии использован микроскоп Axio, а для электронной микроскопии – автоэмиссионный сканирующий электронный микроскоп Merlin. Оба от производителя Carl Zeiss.

Принцип работы электронного микроскопа основан на взаимодействии электронного пучка с поверхностью объекта. Электронный луч непрерывно сканирует участок поверхности объекта, изображение которого формируется микроскопом. При этом каждая точка поверхности объекта, в границах поля зрения микроскопов, отображается соответствующей точкой на формируемом изображении. При взаимодействии электронного луча с поверхностью объекта единовременно возникает сразу несколько ответных сигналов. С помощью детектора вторичных электронов микроскоп формирует конкретное изображение.

В последствии ОПС вводился в битум в количестве 5% от массы и перемешивался до полного растворения. Таким образом получалось битумполисульфидное вяжущее (БПВ) и были проверены его свойства: температура размягчения, температура хрупкости и адгезионные свойства на различных породах щебня.

3. Результаты и обсуждение

Установлено, что полученное БПВ обладает большей температурой размягчения[1] и адгезией[2] в 4 балла к щебню из горных пород габбро, и 5 баллов к щебню из порфирита, что коррелирует с работами авторов [13-15]. Результаты представлены в табл. 1. С учетом результатов ранее проведенных исследований ОПС [11], установлено, что полисульфиды нового состава также склонны к кинетическому набору прочности и увеличению вязкости, что косвенно выражается в повышении температуры размягчения ОПС до 52,0°С, в возрасте 7 суток.

Таблица 1

Кинетическая зависимость температуры размягчения битумполисульфидного вяжущего

Наименование битума	Температура размягчения, 1-е сутки	Температура размягчения, 3-е сутки	Температура размягчения, 5-е сутки	Температура размягчения, 7-е сутки
Битум с модификатором 5%	49,9°С	50,9°С	51,0°С	52,0°С
Чистый битум БНД 70/100	48°С			

Результаты определения температуры хрупкости[3] БПВ свидетельствуют о значительном разбросе полученных данных: от -9 до -22°С, в сравнении с исходным битумом (-18°С), что требует проведения дополнительных исследований.

Методами оптической и электронной микроскопии (рис. 2-3) установлено, что полученные полисульфиды имеют преимущественно кристаллическую структуру с размерами кристаллических новообразований от 178 нм до 392 нм. Как показал результат спектрального элементного анализа, основной объем исследуемого вещества составляют серосодержащие соединения (97%), изучение состава которых является предметом дальнейших исследований. Количество азотистых соединений составляет 1,8%.

---

[1] ГОСТ 33142-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения температуры размягчения. Метод Кольцо и Шар / Стандартинформ, 01.10.2015 – 12 с.

[2] ГОСТ Р 58406.2-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия / Российский институт стандартизации, 15.05.2020 – 28 с.

[3] ГОСТ 33143-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу / Стандартинформ, 01.10.2015 – 12 с.

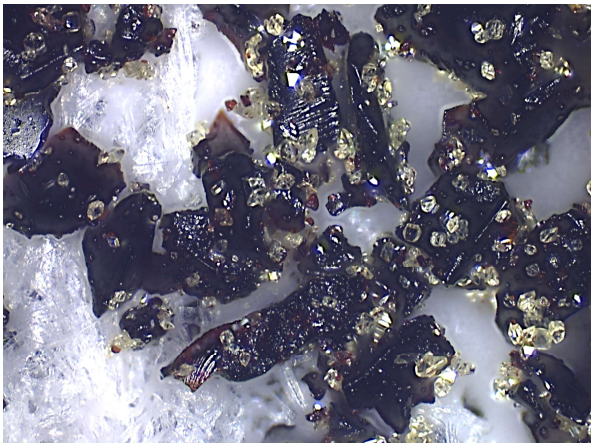


Рис. 2. Оптическая фотография органического полисульфида на основе серы, полиаминов и высших жирных кислот (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Optical photography of organic polysulfide based on sulfur, amines and higher fatty acids (illustration by the authors)

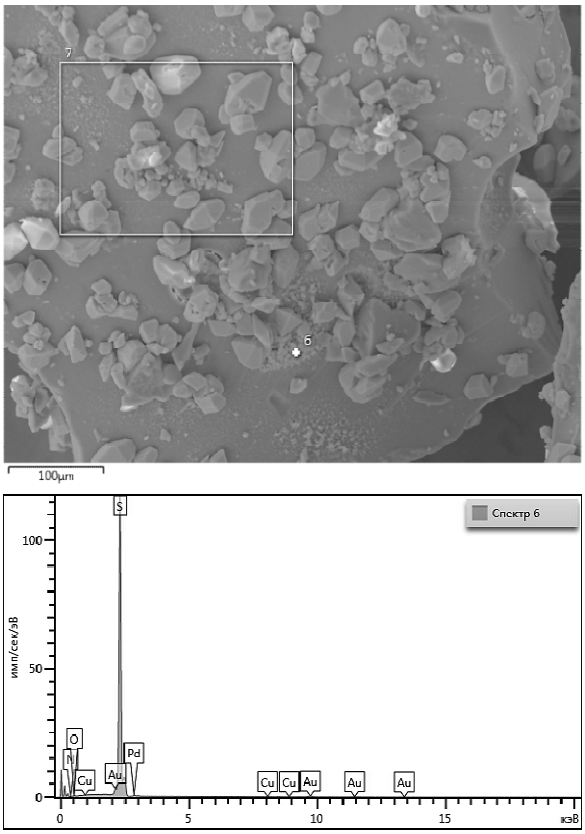


Рис. 3. Микрофотография структуры органического полисульфида на основе серы, высших жирных кислот и полиаминов (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Microphotograph of the structure of the organic polysulfide based on sulfur, higher fatty acids and polyamines (illustration by the authors)

Учитывая вышеизложенное, необходимы дальнейшие исследования структуры и физико-механических свойств органических полисульфидов на основе серы, аминов и высших жирных кислот.

4. Заключение

1. Получены органические полисульфиды путем сополимеризации серы, полиаминов и высших жирных кислот, которые характеризуются

2. Методами микроскопии установлено, что полученные полисульфиды имеют кристаллическую структуру.

3. Установлено, что модификация битума 5% ОПС позволяет получить битумполисульфидное вяжущее нового состава, со сравнительно высокими показателями температуры размягчения. Наблюдается кинетическое изменение структуры БПВ, косвенно выраженное в повышении температуры размягчении вяжущего, с 49,9 до 52,0°С. Уровень показателя адгезии к поверхности минеральных материалов породы габбро и порфирит увеличивается и составляет для пород габбро и порфирит 4 и 5 баллов, соответственно, в сравнении с исходным битумом – 3 балла.

Список литературы / References

1. Биглова, Р. З. Оценка адгезионных и когезионных свойств дорожных битумов, модифицированных бутадиенстирольным каучуком / Р. З. Биглова, Р. Н. Насретдинова // Вестник Башкирского университета. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 734-738. [Biglova, R. Z. Assessment of adhesive and cohesive properties of road bitumen modified with styrene-butadiene rubber / R. Z. Biglova, R. N. Nasretdinova // Bulletin of Bashkir University. – 2018. – Vol. 23, No. 3. – P. 734-738.].
2. Хафизов, Э. Р. Битум-полимерные вяжущие для дорожного строительства с применением продукции нефтехимического комплекса Республики Татарстан / Э. Р. Хафизов, Б. М. Минкин // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений, Белгород, 08–10 октября 2013 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Том 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2013. – С. 406-409. [Khafizov, E. R. Bitumen-polymer binders for road construction using products of the petrochemical complex of the Republic of Tatarstan / E. R. Khafizov, B. M. Minkin // Innovative materials, technologies and equipment for the construction of modern transport structures, Belgorod, October 08–10, 2013 / Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhov. Volume 1. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhov, 2013. – P. 406-409.].
3. Лукша О.В., Опанасенко О.Н., Крутько Н.П., Лобода Ю.В. Модифицирование окисленного битума стирол-бутадиен-стирольными сополимерами различного строения / О. В. Лукша, О. Н. Опанасенко, Н. П. Крутько, Ю. В. Лобода // Журнал прикладной химии. – 2006. – Т. 79, № 6. – С. 1030-1034. [Luksha O.V., Opanasenko O.N., Krutko N.P., Loboda Yu.V. Modification of oxidized bitumen with styrene-butadiene-styrene copolymers of various structures / O. V. Luksha, O. N. Opanasenko, N. P., Krutko, Yu. V. Loboda // Journal of Applied Chemistry. – 2006. – Vol. 79, No. 6. – P. 1030-1034.].
4. Котенко, Н.П., Щерба, Ю.С. Новые полимерно-битумные вяжущие на основе БНД 70/100 // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2019. №2 (202). [Kotenko, N.P., Shcherba, Yu.S. New polymer-bitumen binders based on BND 70/100 // News of universities. North Caucasus region. Series: Technical Sciences. 2019. No. 2 (202).].
5. Котенко, Н.П., Щерба, Ю.С., Евфорицкий А.С. Влияние полимерных и функциональных добавок на свойства битума и асфальтобетона // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2019. №1 (201). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-polimernyh-i-funktsionalnyh-dobavok-na-svoystva-bituma-i-asfaltobetona (дата обращения: 21.10.2023). [Kotenko, N.P., Shcherba, Yu.S., Evforitsky A.S. The influence of polymer and functional additives on the properties of bitumen and asphalt concrete // News of universities. North Caucasus region. Series: Technical Sciences. 2019. No. 1 (201). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-polimernyh-i-funktsionalnyh-dobavok-na-svoystva-bituma-i-asfaltobetona (reference date: 10/21/2023).].
6. Feyzullah Özel, Mehmet Tahir Deniz, Mehmet İshak Yüce. Evaluation of olive pomace and SBS modified bitumen to the performance characteristics / Case Studies in Construction Materials, Volume 19. – 2023, e02432, ISSN 2214-5095, https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02432.

7. Нехорошев В.П., Нехорошев С.В., Нехорошева А.В., Тарасова О.И. Химическое модифицирование дорожных битумов атактическим полипропиленом / В. П. Нехорошев, С. В. Нехорошев, А. В. Нехорошева, О. И. Тарасова // Нефтехимия. – 2017. – Т. 57, № 4. – С. 380-385. – DOI 10.7868/S0028242117040086. [Nekhoroshev V.P., Nekhoroshev S.V., Nekhorosheva A.V., Tarasova O.I. Chemical modification of road bitumen with atactic polypropylene / V. P. Nekhoroshev, S. V. Nekhoroshev, A. V. Nekhorosheva, O. I. Tarasova // Petrochemistry. – 2017. – Vol. 57, No. 4. – P. 380-385. – DOI 10.7868/S0028242117040086.].
8. Andreas Schaur, Seraphin Hubert Unterberger, Roman Lackner. Impact of molecular structure of PP on thermo-rheological properties of polymer-modified bitumen / Construction and Building Materials, Volume 287. – 2021, 122981, ISSN 0950-0618, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122981.
9. Paolino Caputo, Vincenzo Algieri, Loredana Maiuolo, Antonio De Nino, Emilia Sicilia, Fortuna Ponte, Pietro Calandra, Cesare Oliviero Rossi. Waste additives as biopolymers for the modification of bitumen: Mechanical performance and structural analysis characterization / Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 663. – 2023, 131079, ISSN 0927-7757, https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131079.
10. Amir Tabaković, Jeremy Lemmens, Jelmer Tamis, Dave van Vliet, Sayeda Nahar, Willem Suitela, Mark van Loosdrecht, Greet Leegwater. Bio-polymer modified bitumen / Construction and Building Materials, Volume 406. – 2023, 133321, ISSN 0950-0618, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133321.
11. Fomin, A.; Khomyakov, A.; Asphalt concrete based on bituminous polysulfide binder, designed according to the volumetric method; 2022; Construction of Unique Buildings and Structures; 105 Article No 10512. doi: 10.4123/CUBS.105.12.
12. Фомин Алексей Юрьевич. Битумполисульфидные вяжущие для дорожных асфальтобетонов: Дисс. канд. техн. наук: 05.23.05: Казань, 2004. – 194 с. [Fomin Alexey Yurievich. Bitumen-polysulfide binders for road asphalt concrete: Diss. Candidate of tech. Sciences: 05.23.05: Kazan, 2004. – 194 p.].
13. Патент № 2374280 C2 Российская Федерация, МПК C08L 95/00, C04B 26/26. Катионактивная адгезионная присадка к битумам и способ ее получения: № 2007143424/04: заявл. 23.11.2007: опубл. 27.11.2009 / Т. Ф. Ганиева, А. Ф. Кемалов, Р. З. Фахрутдинов [и др.]; заявитель ООО "НПЦ "Инвента". [Patent No. 2374280 C2 of the Russian Federation, IPC C08L 95/00, C04B 26/26. Cationic adhesive additive for bitumen and method of its preparation: No. 2007143424/04: decl. 11/23/2007: publ. 11/27/2009 / T. F. Ganieva, A. F. Kemalov, R. Z. Fakhrutdinov [et al.]; applicant LLC “NPC “Inventa”.].
14. Патент № 2723843 C1 Российская Федерация, МПК C08L 95/00, C04B 26/26, C07C 231/00. Способ получения адгезионной добавки для дорожного битума: № 2019142769: заявл. 20.12.2019: опубл. 17.06.2020 / Д. Ш. Гарифуллин, К. В. Белоногов, А. Г. Тарантаев; заявитель Открытое акционерное общество Химическая компания «НИТОН». [Patent No. 2723843 C1 of the Russian Federation, IPC C08L 95/00, C04B 26/26, C07C 231/00. Method for producing an adhesive additive for road bitumen: No. 2019142769: decl. 12/20/2019: publ. 06/17/2020 / D. Sh. Garifullin, K. V. Belonogov, A. G. Tarantaev; applicant Open Joint Stock Company Chemical Company “NITON”.].
15. Патент № 2192438 C1 Российская Федерация, МПК C08L 95/00. Способ получения адгезионной битумной присадки: № 2001119672/04: заявл. 16.07.2001: опубл. 10.11.2002 / В. М. Андрианов, А. Б. Гелев, С. Т. Буртан [и др.]. [Patent No. 2192438 C1 of the Russian Federation, IPC C08L 95/00. Method for producing adhesive bitumen additive: No. 2001119672/04: decl. 07/16/2001: publ. 11/10/2002 / V. M. Andrianov, A. B. Gelev, S. T. Burtan [et al.]

Информация об авторах

Александр Александрович Хомяков, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: khoma_aa@mail.ru
Алексей Юрьевич Фомин, кандидат технических наук, директор Института транспортных сооружений Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань, Российская Федерация
Email: fomin-al.78@mail.ru
Низамов Рашит Курбангалиевич, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, академик Академии наук Республики Татарстан г. Казань, Российская Федерация
Email: Nizamov@kgasu.ru

Information about the authors

Alexander A. Khomyakov, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: khoma_aa@mail.ru
Alexey Y. Fomin, candidate of technical sciences, director of the Institute of Transport Structures of Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: fomin-al.78@mail.ru
Rashit K. Nizamov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, academic of Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
Email: Nizamov@kgasu.ru

УДК: 691.175.3
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_275
EDN: UVYIOO

Численное моделирование напряженно-деформированного состояния гибридных композитов

Ф.Р. Шакирзянов[1], А.И. Валиев[1], А.М. Сулейманов[12], Р.К. Низамов[12]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация
[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи*. Одним из способов внедрения в строительную практику гибридных (с гетероволокнистым наполнением) полимерных композитов конструкционного назначения является совершенствование их численного моделирования напряженно-деформированного состояния на различных этапах разработки, позволяющего на раннем этапе выполнить предварительную оценку оптимальных вариантов. Цель исследования заключается в определении предельной нагрузки, которую выдержит композит при изгибе, растяжении и сжатии, оценка влияния содержания различных фаз с рекомендациями по назначению геометрических параметров и механических характеристик композита. Задачами исследования являются: выполнение прочностных расчетов на растяжение, сжатие, изгиб гибридных композитов, сравнительный анализ различного армирования на прочностные и жесткостные параметры, предварительная оценка оптимального варианта армирования гибридного композита.
Результаты. В работе произведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния гибридных полимерных композитов, а именно проведены расчеты на растяжение, сжатие и изгиб. Проведен сравнительный анализ различного армирования на прочностные и жесткостные параметры. Разработана аналитически методика предварительной оценки оптимального варианта армирования гибридного полимерного композита.
Выводы. Значимость полученных результатов в строительной отрасли заключается в том, что численное моделирование напряженно-деформированного состояния гибридных полимерных композитов позволяет расширить область их применения, модель рекомендуется использовать при решении научных и инженерных задач.

Ключевые слова: стеклопластик, углепластик, гибрид, растяжение, сжатие, изгиб, оптимизация

Для цитирования: Шакирзянов Ф.Р., Валиев А.И., Сулейманов А.М., Низамов Р.К. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния гибридных композитов//Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 275-285, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_275, EDN: UVYIOO

Numerical modeling of stress-strain state of hybrid composites

F.R. Shakirzyanov[1], A.M. Suleymanov[1], A.I. Valiev[12], R.K. Nizamov[12]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation
[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* One of the ways to introduce hybrid (with heterofiber filling) polymer composite materials of structural purpose into the construction practice is to improve

their numerical modeling of the stress-strain state at various stages of development, which allows performing a preliminary assessment of optimal options at an early stage. The purpose of the study is to determine the ultimate load that the composite will withstand in bending, tension and compression, to assess the influence of the content of different phases with recommendations for the assignment of geometric parameters and mechanical characteristics of the composite. The objectives of the research are performance of strength calculations in tension, compression, bending of hybrid beams, comparative analysis of different reinforcement on strength and stiffness parameters, preliminary evaluation of the optimal variant of reinforcement of hybrid composite.
Results. Numerical modeling of stress-strain state of hybrid polymer composite materials, namely, tensile, compression and bending calculations have been carried out. Comparative analysis of different reinforcement on strength and stiffness parameters has been carried out. The method of preliminary estimation of the optimal variant of reinforcement of hybrid polymer composite material has been analytically developed.
Conclusions. The significance of the obtained results in the construction industry lies in the fact that numerical modeling of the stress-strain state of hybrid polymer composite materials allows expanding the field of their application, the model is recommended to be used in solving scientific and engineering problems.

Keywords: fiberglass, carbon fiber, hybrid, tension, compression, bending, optimization

For citation: Shakirzyanov F.R., Valiev A.I., Suleymanov A.M., Nizamov R.K. Numerical modeling of stress-strain state of hybrid composites // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 275-285, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_275, EDN: UVYIOO

1. Введение

Разработка и внедрение новых классов композиционных материалов, постоянное расширение сферы полимерных композитов, в частности в сфере строительства, стимулируют развитие исследований по прогнозированию их свойств, методов расчета и оптимизации конструкций из них [1-3]. По данным объема рынка полимерных композитов потребление в период с 2017-2023 гг. выросла на 17,1% и ожидается, что в период с 2023-2029 гг. будет расти каждый год на 3,67% в объемном выражении [4-6].

В последнее десятилетие технологически реализованы новые и перспективные классы конструкционных композитов, в частности гибридные. Гибридными называют композиционные материалы, содержащие более одного вида армирующего компонента в единой матрице [7-9].

При использовании в качестве армирующего материала только стекловолокна в композите не удается получить материал, жесткость которого была бы на уровне жесткости металлов. Для повышения жесткости композитов создаются гибридные композиты, которые содержат углеродные волокна. Углеродное волокно повышает прочность гибридного композита при растяжении, сжатии и изгибе. Поэтому изготавливаются композиты, в которых перемежаются слои стекловолокна и слои углеродного волокна. Возможны также варианты композитов, у которых слои представляют собой переплетение стекловолокон с углеродными.

Кроме того, включения других высокопрочных волокон, обладающей большей работой разрушения повышает ударную вязкость, которые не достигается обычными методами. Также гибридизации материала углеволокнами улучшает низкую прочность при сжатии. Еще большее влияние гибридизация оказывает на модуль упругости при сжатии: этот параметр почти удваивается при введении всего 5% углеволокна в композитный материал с массовой долей стекловолокна 50%. Несмотря на положительные стороны гибридизации, оценка упруго-прочностных характеристик гибридных композитов с различным по объему типов наполнителей представляет сложность, в связи с невозможностью применения правила аддитивности, за счет различных свойств образованных межфазных слоев на границе «волокно-матрица».

Целью работы является определение предельной нагрузки, которую выдержит композитная балка при изгибе, растяжении и сжатии, оценка влияния содержания

различных фаз с рекомендациями по назначению геометрических параметров и механических характеристик композита.

Для достижения поставленной цели необходимо:

– провести прочностные расчеты на растяжение, сжатие и изгиб гибридных балок численно;

– провести сравнительный анализ различного армирования на прочностные и жесткостные параметры балки;

– произвести оценку оптимального варианта армирования гибридного композита.

2. Материалы и методы

При расчете композитных балок учитывались следующие геометрические размеры и механические характеристики материалов.

Для балки прямоугольного сечения принимались следующие размеры: L=160 мм, H=5 мм, B=13 мм. Толщина каждого слоя t=0,25 мм. Балка состоит из 20 слоев.

В расчетах приняты характеристики материалов, представленные в табл. 1 и 2:

а) углепластик:

Таблица 1

E_1 Н/мм^2	E_2 Н/мм^2	G_{12} Н/мм^2	ν_{12}	ν_{21}	X_{1t} Н/мм^2	X_{1c} Н/мм^2	X_{2t} Н/мм^2	X_{2c} Н/мм^2	T_{12} Н/мм^2
1,21e11	8,6e9	4,7e9	0,27	0,4	2,23e9	1,082e9	2,9e7	1e8	6e7

б) стеклопластик:

Таблица 2

E_1 Н/мм^2	E_2 Н/мм^2	G_{12} Н/мм^2	ν_{12}	ν_{21}	X_{1t} Н/мм^2	X_{1c} Н/мм^2	X_{2t} Н/мм^2	X_{2c} Н/мм^2	T_{12} Н/мм^2
4,5e10	1e10	5e9	0,3	0,4	1,1e9	6,75e8	3,5e7	1,2e8	8e7

где:

E_1 — модуль упругости композита в продольном направлении, МПа;

E_2 — модуль упругости композита в поперечном направлении, МПа;

G_{12} — модуль сдвига композита, МПа;

ν_{12}, ν_{21} — коэффициенты Пуассона;

X_{1t} — предел прочности композита при растяжении в продольном направлении, МПа;

X_{1c} — предел прочности композита при сжатии в продольном направлении, МПа;

X_{2t} — предел прочности композита при растяжении в поперечном направлении, МПа;

X_{2c} — предел прочности композита при сжатии в поперечном направлении, МПа;

T_{12} — предел прочности композита при межслойном сдвиге, МПа.

Расчет балок выполнен в ПК «ANSYS 2020 R2». Расчет выполнен в предположении, что слои многослойного материала идеально связаны между собой (т.е взаимное проскальзывание слоев отсутствует).

Рассмотрены 5 вариантов расчета напряженно-деформированного состояния балок:

1) балка состоит только из стеклопластика;

2) балка состоит только из углепластика;

3) верхний и нижний слой из углепластика, остальные стеклопластик;

4) балка состоит переменно из углепластика и стеклопластика;

5) верхний и нижний 3 слоя из углепластика, остальные стеклопластик.

6) верхний и нижний 7 слоев из углепластика, остальные стеклопластик.

Блок-схема (алгоритм) построения конечно-элементной модели полимерных композитов, в том числе, гибридных в ПК «ANSYS 2020 R2» представлена на рис. 1.

Прогнозирование упруго-механических характеристик гибридных полимерных композитов в численной модели выполнено согласно допущениям по [11, 12]:

-структура гибридного материала симметрична относительно срединной плоскости;

-слои деформируются совместно и линейно;

-структура гибридного материала без дефектов с оптимальным (идеальным) взаимодействием компонентов.

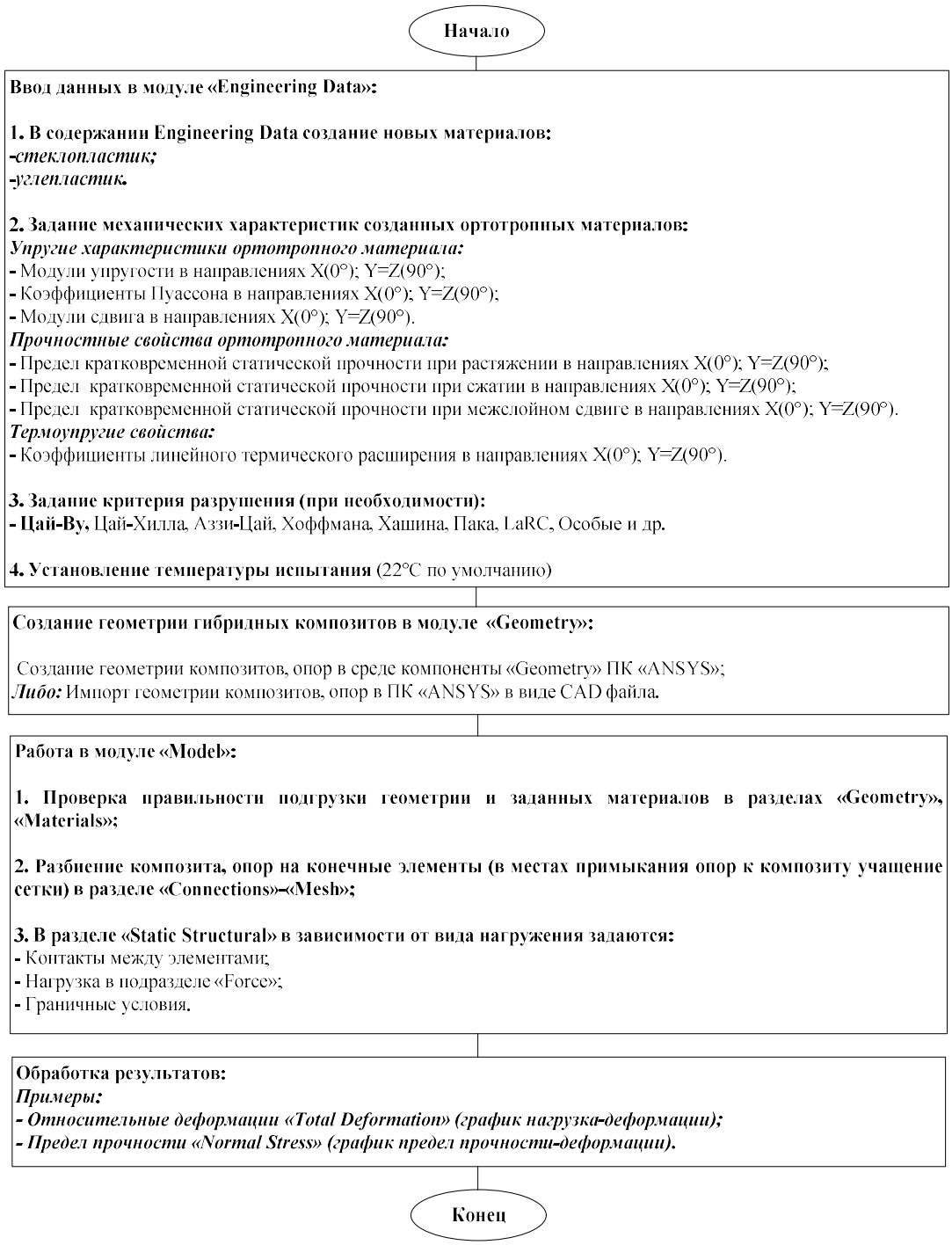


Рис. 1. Блок-схема (алгоритм) построения конечно-элементной модели гибридного полимерного композита (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Block diagram (algorithm) for building a finite element model of hybrid polymer composite (illustration by the authors)

Расчетные схемы балок при растяжении, сжатии и изгибе представлены на рис. 2. При растяжении балки принималась нагрузка P=10000 Н, при изгибе (показана половина балки в виду симметрии задачи) P=100 Н. Сжатие балки моделировалась кинематически (слева и справа опоры считались жесткими, т. е. $\mu = 0.5$).

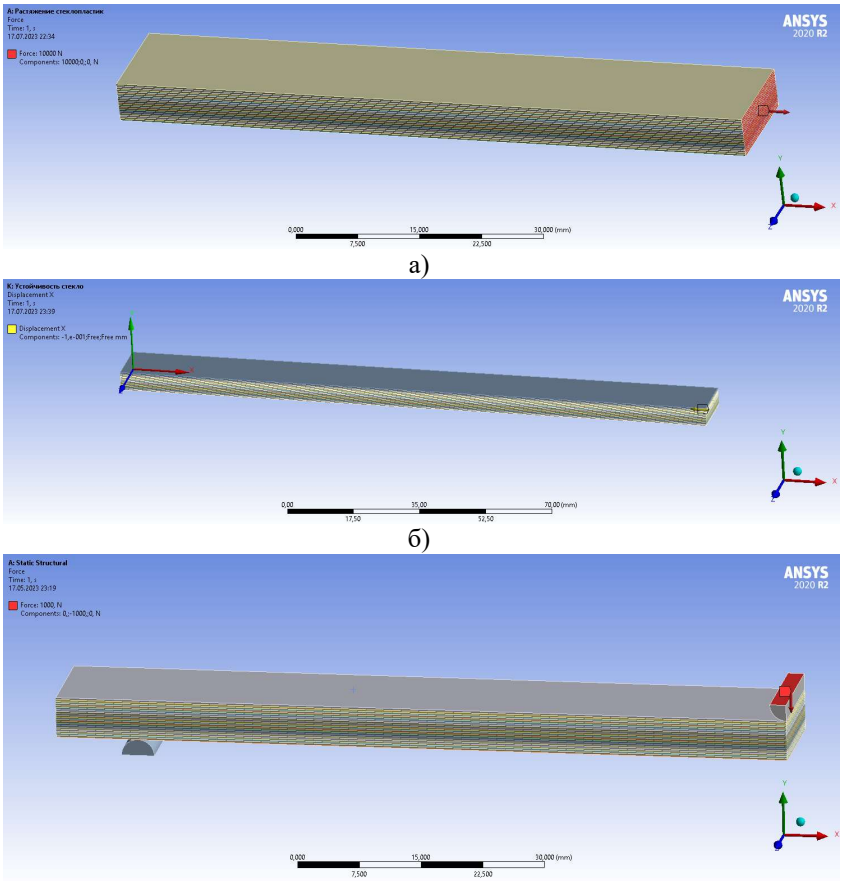


Рис. 2. Расчетная схема балки при а) растяжении, б) сжатии, с) изгибе (иллюстрация авторов)
Fig. 2. Calculation diagram of a beam in a) tension, b) compression, c) bending (illustration by the authors)

Для предварительного определения оптимального сечения балки из гибридного композита были приняты следующие критерии прочности:

1) при растяжении определяется наименьшая цена используемого материала при условии прочности на растяжении (по формулам 1 и 2):

$$Pr \rightarrow min, \quad (1)$$

$$\sigma \leq \sigma_{\text{раст}} \quad (2)$$

2) при изгибе ищется наименьшая цена используемого материала с учетом выполнения условия прочности и жесткости балки (по формулам 3-6):

$$Pr \rightarrow min, \quad (3)$$

$$\sigma \leq \sigma_{\text{раст}}, \quad (4)$$

$$|\sigma| \leq \sigma_{\text{сж}}, \quad (5)$$

$$v \leq [v] \quad (6)$$

3) при расчете на сжатие балки также ищется наименьшая цена используемого материала с учетом выполнения условия прочности и устойчивости балки (по формулам 7-10):

$$Pr \rightarrow min, \quad (7)$$

$$\sigma \leq \sigma_{\text{раст}}, \quad (8)$$

$$|\sigma| \leq \sigma_{\text{сж}}, \quad (9)$$

$$P \leq P_{kr} \quad (10)$$

За счет того, что гибридного балка состоит из 20 слоев по 0,25 мм со структурой симметричной относительно срединной плоскости, рассмотрены все возможные варианты армирования, а именно 1024 варианта: сверху и снизу, чередованием, чередованием по 2 и т.п.

3. Результаты

В расчете были рассмотрены разные варианты армирования стеклопластика углепластиковыми слоями. Проведены расчеты по определению нормальных (σx, σy), касательных напряжений (τxy) в балке, определением прогибов (V) при нагрузке (P*, Pкр). Результаты расчетов на растяжение (P=10000 Н) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Вид балки	Материал	V, мм	σx, МПа	σy, МПа	τxy, МПа	P*, кН
Вариант 1	Стеклопластик	0,27	153,8	0,0	0,0	71,5
Вариант 2	Углепластик	0,101	153,8	0,0	0,0	155,4
Вариант 3	Углепластик	0,237	353,9	0,4	0,97	67,5
	Стеклопластик		131,7	3,6	1,14	
Вариант 4	Углепластик	0,15	249,1	0,67	0,39	68,9
	Стеклопластик		159	9,34	0,74	
Вариант 5	Углепластик	0,18	279	1,08	1,21	47,2
	Стеклопластик		159,3	13,2	1,84	

Результаты расчетов на изгиб (P=100 Н) приведены в табл. 4.

Таблица 4

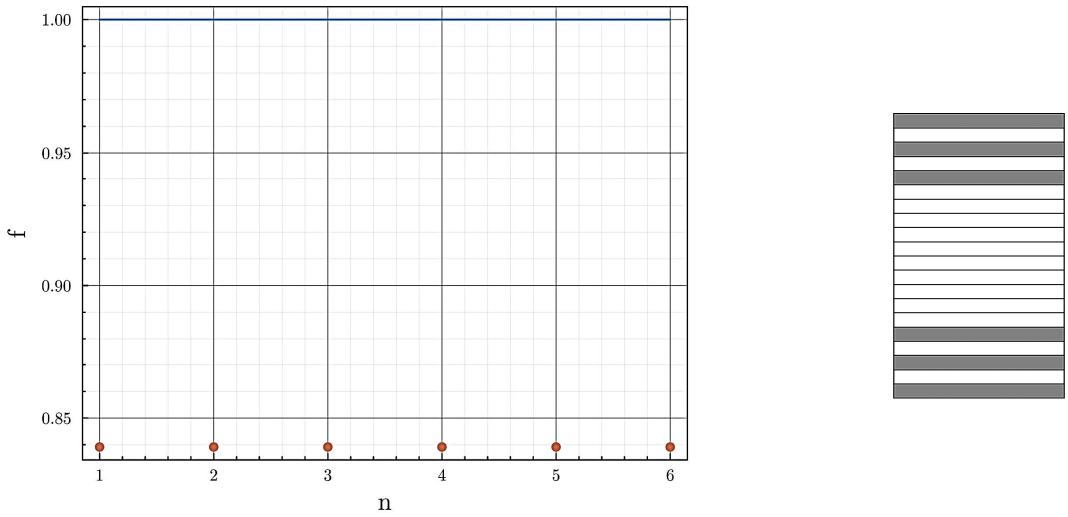
Вид балки	Материал	V, мм	σx+, МПа	σx-, МПа	σy+, МПа	σy-, МПа	τxy+, МПа	τxy-, МПа	P*, кН
Вариант 1	Стеклопластик	4,54	209,7	331,9	5,9	26,6	2,7	1,1	0,203
Вариант 2	Углепластик	3,12	274,4	461,1	4,2	17,3	2,5	0,8	0,235
Вариант 3	Углепластик	3,62	386,5	579,8	4,7	17,4	2,6	0,7	0,187
	Стеклопластик		127,3	166,7	4,7	11,4	0,8	0,4	
Вариант 4	Углепластик	3,44	331,4	525,6	4,5	17,6	2,5	0,8	0,206
	Стеклопластик		103,5	144,6	4,9	11,3	0,8	0,4	
Вариант 6	Углепластик	3,01	274,8	460,1	4,3	17,3	2,5	0,7	0,235
	Стеклопластик		50,6	50,2	2,3	3,4	0,4	0,2	

Результаты расчетов на сжатие приведены в табл. 5.

Таблица 5

Вид балки	Материал	Pкр, кН	σx+, МПа	σx-, МПа	σy+, МПа	σy-, МПа	τxy+, МПа	τxy-, МПа	P*, кН
Вариант 1	Стеклопластик	7,56	366,8	655,7	29,7	50,9	37,8	37,8	0,103
Вариант 2	Углепластик	15,541	904,9	1371,0	11,1	16,4	89,1	89,1	0,067
Вариант 3	Углепластик	10,323	737,7	1540,0	8,0	16,1	91,2	91,2	0,066
	Стеклопластик		230,7	560,2	11,2	25,7	24,0	24,0	
Вариант 4	Углепластик	12,465	874,0	1461,6	20,6	33,7	92,5	92,5	0,065
	Стеклопластик		275,6	517,4	13,5	22,6	24,2	24,2	

Также были проведены оптимизационные расчеты при разных вариантах сочетаний материалов из стеклопластика и углепластика, построены диаграммы функций напряженности, удлинения/прогибов балки, цены балки для различных вариантов армирования (цены приняты согласно рыночным данным). В данной статье приведены некоторые из них (рис. 3, 4). На рис. 3 представлена диаграмма функций напряженности при растяжении для различных вариантов армирования.



а) б)

Рис. 3. Диаграмма а) функций напряженности при растяжении для различных вариантов армирования, где n– количество армирующих слоев б) пример армирования чередованием слоев (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Diagram of a) tensile stress functions for different reinforcement variants, where n is the number of reinforcements b) example of alternating layer reinforcement (illustration by the authors)

В результате расчета оптимальными вариантами армирования при растяжении получились все случаи, ниже синей линии (f=1) (см. рис. 3).

Согласно диаграмме функций напряженности (рис. 4), при изгибе для различных вариантов армирования при заданных нагрузках, все варианты удовлетворяют условиям прочности.

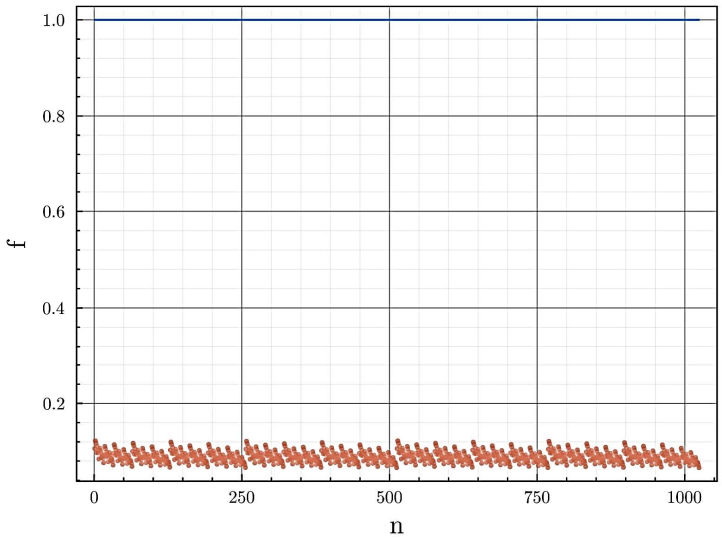
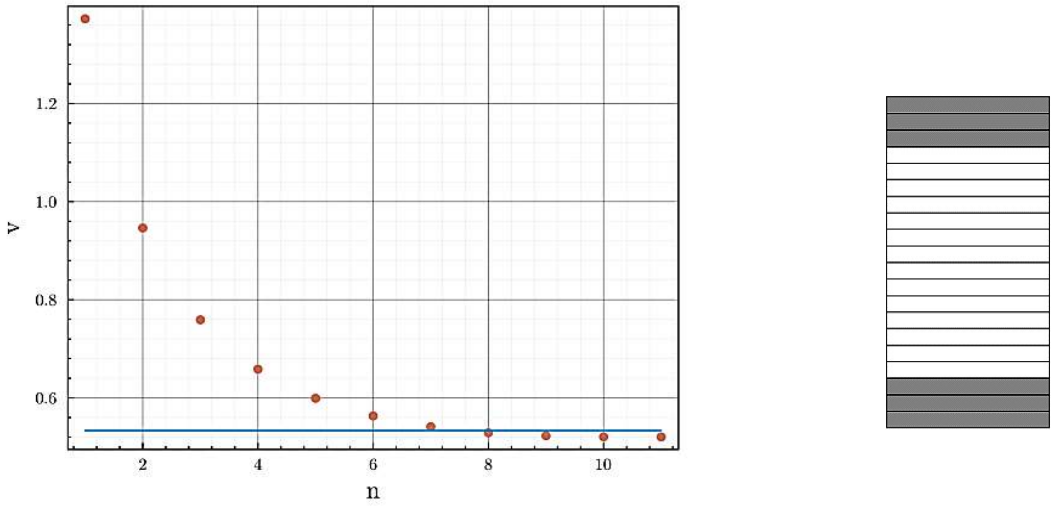


Рис. 4. Диаграмма функций напряженности при изгибе для различных вариантов армирования, где n-варианты армирования (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Diagram of bending stress functions for different reinforcement variants, where n-reinforcement variants (illustration by the authors)

На рис. 5 представлена диаграмма прогибов балки при изгибе (частный случай: армирование сверху и снизу), по которой можно сделать вывод, что только 4 вариантов

расчета проходят по условию жесткости. Условие жесткости выполняется для случая с 4 слоями углепластика снаружи.

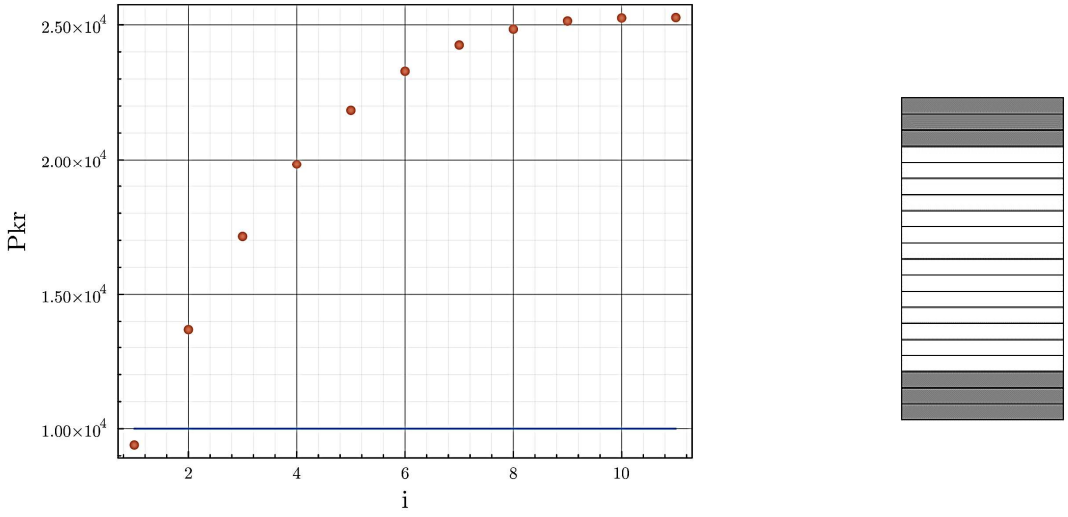


а) б)

Рис. 5. Диаграмма а) прогибов балки для различных вариантов армирования сверху и снизу б) пример армирования композита (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Diagram of a) beam deflections for different top and bottom reinforcement options b) example of composite reinforcement (illustration by the authors)

Функция напряженности, при сжатии для различных вариантов армирования также удовлетворяют условиям прочности. На рис. 6 представлена диаграмма влияния армирования на нагрузку, при которой происходит потеря устойчивости балки для различных вариантов армирования. Из рис. 6 видно, что только для варианта с 1 слоем армирования наружных слоев не выполняется условие устойчивости.



а) б)

Рис. 6. Диаграмма а) нагрузка, при которой происходит потеря устойчивости балки при сжатии для различных вариантов армирования, где i- вариант армирования б) вариант армирования (иллюстрация авторов)

Fig. 6. Diagram a) load at which the beam stability is lost in compression for different reinforcement variants, where i- reinforcement variant b) reinforcement variant (illustration by the authors)

4. Обсуждения

Для дальнейших расчетов, верификации численной модели необходимо провести натурные испытания образцов с целью определения механических параметров гибридного композита и дальнейших расчетов сложных сечений и их минимизации по цене. Так, в работе [7] представлены результаты натурного исследования упруго-

механических характеристик гибридных полимерных композитов на основе сочетания углеродных и базальтовых волокон намоткой, в работе [8] проведено натурное исследование, предполагающее отрицательное влияние гибридизации на предел прочности при сжатии при смешивании стеклянных и углеродных волокон и полимерного связующего. Верификация модели по натурным испытаниям позволит ввести корректировки в модель напряженно-деформированного состояния для определенного типа гибридного полимерного композита.

Для полного регулирования упруго-механических свойств полимерных композитов путем оптимального соотношения различных типов наполнителей необходимо исключить главный недостаток в виде остаточных напряжений после формования изделия с учетом воздействия агрессивных факторов в процессе эксплуатации [5, 10, 11].

Для прогнозирования тех или иных параметров перспективным направлением является применение оптимальных моделей прогнозирования физико-механических характеристик, таких как машинное обучение [12-14] с использованием генетических алгоритмов, искусственных нейронных сетей, алгоритмов случайного леса, повышения градиента и др. [15-17].

5. Заключение

В данной работе представлены результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния гибридных полимерных композитов на растяжение, сжатие и изгиб:

1. При растяжении для гибридных композитов наблюдается уменьшение предельной нагрузки на 5,6% при 1 слое армирования наружных слоев углепластиками, на 7,8% при чередовании слоев, на 34% с 3 слоями армирования наружных слоев углепластиками по сравнению со стеклопластиками;

2. При сжатии для гибридных полимерных композитов наблюдается увеличение критической нагрузки при потере устойчивости для композитов с 1 слоем армирования наружных слоев углепластиками составляет 26,8%, при чередовании слоев 39,4% по сравнению со стеклопластиками;

3. Наблюдаются уменьшение прогибов при изгибе для гибридных полимерных композитов с 1 слоем армирования наружных слоев углепластиками на 20,3%, при чередовании слоев на 24,2%, с 7 слоями армирования наружных слоев углепластиками на 33,7% по сравнению со стеклопластиками;

4. Выполнена предварительная оценка оптимальных вариантов. Функции напряженности для различных видов нагружений удовлетворяют условиям прочности. Сравнительный анализ различного армирования на прочностные и жесткостные параметры позволяет подобрать необходимые параметры в зависимости от заданной нагрузки и требований к деформациям, прочности и устойчивости:

а) при изгибе условие жесткости выполняется для случая с 4 слоями углепластика снаружи и более;

б) только для варианта с 1 слоем армирования наружных слоев углепластиками не выполняется условие устойчивости.

Список литературы/ References

1. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334. [Kablov E.N. Materials of new generation and digital technologies of their processing // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2020. T. 90. № 4. P. 331-334.]
2. Цыгвинцев, И.В. Применение композитных материалов в строительстве / И.В. Цыгвинцев, П.И. Постникова, И.В. Сенцов // Инновационное развитие. — 2017. — № 7(12). — С. 26–29. [Tsygvintsev, I.V. Application of composite materials in construction / I.V. Tsygvintsev, P.I. Postnikova, I.V. Sentsov // Innovative development. - 2017. - № 7(12). - P. 26-29.]
3. Храмова, Т.А. Исследование технологии применения композитных материалов для строительства и реконструкции объектов инфраструктуры / Т.А. Храмова // Аллея науки. — 2017. — Т. 1. — № 8. — С. 201–211. [Khramova, T.A. Research of the

technology of composite materials application for construction and reconstruction of infrastructure objects / T.A. Khramova // Alley of Science. - 2017. - Vol. 1. - № 8. - P. 201-211.]

4. Федонюк, Н.Н. Проектирование конструкций из гибридных полимерных композиционных материалов по прототипу и результаты исследований по выбору их рациональных составов и структур / Н.Н. Федонюк // Труды ЦНИИ им. Акад. А.Н. Крылова. – 2011. – № 58. – С. 59-90. [Fedonyuk, N.N. Designing of structures from hybrid polymer composite materials according to the prototype and the results of research on the choice of their rational compositions and structures / N.N. Fedonyuk // Proceedings of the Krylov Central Scientific Research Institute named after A.N. Krylov. - 2011. - № 58. - P. 59-90.]
5. Агеева Т. Г., Баринов Д. Я., Просвириков В. М. Определение теплофизических и оптических характеристик гибридных композиционных материалов для крыла суборбитального многоразового космического аппарата туристического класса // XLI Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С. П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства, 2017. – С. 44–45. [Ageeva T. G., Barinov D. Y., Prosvirikov V. M. Determination of thermophysical and optical characteristics of hybrid composite materials for the wing of suborbital reusable tourist-class spacecraft // XLI Academic Readings on Cosmonautics, dedicated to the memory of Academician S. P. Korolev and other outstanding Russian scientists - pioneers of space exploration, 2017. - P. 44-45]
6. Л. А. Абдрахманова, К. Р. Хузиахметова, Р. К. Низамов, В. Г. Хозин. Модификаторы для жестких поливинилхлоридных композиций строительного назначения// Строительные материалы. – 2020. – № 12. – С. 34-39. – DOI 10.31659/0585-430X-2020-787-12-34-39. – EDN PIPPNJ [L. A. Abdrakhmanova, K. R. Khuziakhmetova, R. K. Nizamov, V. G. Khozin. Modifiers for rigid polyvinyl chloride compositions for construction purposes // Construction materials. – 2020. – No. 12. – P. 34-39. – DOI 10.31659/0585-430X-2020-787-12-34-39. – EDN PIPPNJ]
7. Журковский М. Е., Сакошев З. Г., Блазнов А. Н. Исследование механических свойств намоточных гибридных полимерных композиционных материалов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2018. – № 3 (23). – С. 39–43. [Zhurkovskiy M. E., Sakoshev Z. G., Blaznov A. N. Research of mechanical properties of winding hybrid polymer composite materials // South-Siberian Scientific Bulletin. - 2018. - № 3 (23). - P. 39-43.]
8. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы: учебное пособие. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 822 с. // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS. URL: http://www.iprbookshop.ru/13214.html (дата обращения: 10.09.2023). [Mikhailin Yu. A. Structural polymer composite materials: textbook. - SPb.: Scientific bases and technologies, 2010. - 822 p. // Electronic library system IPR BOOKS. URL: http://www.iprbookshop.ru/13214.html (reference date: 10.09.2023).]
9. Resource-saving polymer compositions for construction purposes / R. Galeev, R. Nizamov, L. Abdrakhmanova, V. Khozin // IOP conference series : Materials Science and Engineering, Kazan, 29 апреля – 15 2020 года. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012111. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012111. – EDN LOMNOQ.
10. Lu, L.; Dao, M.; Kumar, P.; Ramamurty, U.; Karniadakis, G.E.; Suresh, S. Extraction of mechanical properties of materials through deep learning from instrumented indentation. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2020, 117, 7052–7062. DOI: 10.1073/pnas.1922210117.
11. Yang, Z.; Yabansu, Y.C.; Jha, D.; Liao, W.-K.; Choudhary, A.N.; Kalidindi, S.R.; Agrawal, A. Establishing structure-property localization linkages for elastic deformation of three-dimensional high contrast composites using deep learning approaches. Acta Mater. 2018, 166, 335–345. DOI: 10.3390/met12020223.
12. Karamov, R.; Akhatov, I.; Sergeichev, I.V. Prediction of Fracture Toughness of Pultruded Composites Based on Supervised Machine Learning. Polymers 2022, 14. https://doi.org/10.3390/ polym14173619.

13. Song, L.; Meng, S.; Xu, C.; Fang, G.; Yang, Q. Finite element-based phase-field simulation of interfacial damage in unidirectional composite under transverse tension. Model. Simul. Mater. Sci. Eng. 2019, 27, 55011. DOI: 10.1088/1361-651X/ab1f63.
14. Almeida-Fernandes, L.; Silvestre, N.; Correia, J.R.; Arruda, M. Fracture toughness-based models for damage simulation of pultruded GFRP materials. Compos. Part B Eng. 2020, 186. DOI: 10.1016/j.compositesb.2020.107818.
15. Fernandes, L.A.; Silvestre, N.; Correia, J.R. Characterization of transverse fracture properties of pultruded GFRP material in tension. Compos. Part B Eng. 2019, 175. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107095.
16. Chen, C.-T.; Gu, G.X. Machine learning for composite materials. MRS Commun. 2019, 9, 556–566. DOI: 10.1557/mrc.2019.32.
17. Ramprasad, R.; Batra, R.; Pilania, G.; Mannodi-Kanakkithodi, A.; Kim, C. Machine learning in materials informatics: Recent applications and prospects. NPJ Comput. Mater. 2017, 3, 1. DOI: 10.1038/s41524-017-0056-5.

Информация об авторах

Фарид Рашитович Шакирзянов, кандидат физико-математических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
Email: faritbox@mail.ru
Валиев Алмаз Илсурович, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: tatcomposite@mail.ru
Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Низамов Рашит Курбангалиевич, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, академик Академии наук Республики Татарстан г. Казань, Российская Федерация
Email: Nizamov@kgasu.ru

Information about the authors

Farid R. Shakirzyanov, candidate of physical and mathematical sciences, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: faritbox@mail.ru
Almaz I. Valiev, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: tatcomposite@mail.ru
Alfred M. Suleymanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corr.-m. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Rashit K. Nizamov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, academic of Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation
Email: Nizamov@kgasu.ru

УДК: 691.168
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_286
EDN: VEUFIY

Исследование долговечности железобетонных блоков обделки тоннелей на примере казанского метрополитена

Д.С. Смирнов [1], Я.А. Фомина [1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Объектом исследования являются блоки обделки тоннелей казанского метрополитена. Метро является сооружением, имеющим важнейшую хозяйственную значимость. Потому к нему предъявляются повышенные требования по долговечности. Долговечность сооружений в свою очередь зависит от долговечности строительных материалов, из которых они изготовлены. Целью работы является оценка фактической прочности бетона в тоннелях Казанского метрополитена изготовленных в разный период и построение кинетической кривой изменения прочности во времени. Задачами исследования являются: формирование базы данных контролируемых параметров и создание на их основе прогностической модели изменения характеристик конструкции в процессе эксплуатации.
Результаты. В работе была получена функция, которая дает возможность предсказать изменение прочности железобетонных блоков обделки Казанского метрополитена в процессе эксплуатации. Анализируя данные за 22- летний период эксплуатации, было обнаружено увеличение прочности на 20,8% по отношению к проектному показателю. Этот результат свидетельствует о положительной динамике долговечности железобетонных конструкций и указывает на их продолжительное использование в будущем.
Выводы. Результаты проведенного исследования позволят сделать вывод, что долговечность рассматриваемых железобетонных блоков обделки зависит от технического состояния их элементов.

Ключевые слова: метрополитен, тоннель, блоки обделки, прочность, бетон

Для цитирования: Смирнов Д.С., Фомина Я.А. Исследование долговечности железобетонных блоков обделки тоннелей на примере казанского метрополитена // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 286-293, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_286, EDN: VEUFIY

Study of the durability of reinforced concrete blocks for tunnel lining on the example of the Kazan Metro

Smirnov D.S.[1], Fomina Y.A.[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The object of the study is the lining blocks of the tunnels of the Kazan metro. The metro is a structure of major economic importance. Therefore, increased durability requirements are imposed on it. The durability of structures, in turn, depends on the durability of the building materials from which they are made. The purpose of the work is to assess the actual strength of concrete in the Kazan metro tunnels manufactured in different periods and to construct a kinetic curve of changes in strength over time. The objectives of the study are the formation of a database of controlled parameters and the creation on their basis of a predictive model of changes in the characteristics of the structure during operation.

Results. The work obtained a function that makes it possible to predict the change in the strength of reinforced concrete blocks of the lining of the Kazan metro during operation. Analyzing the data for the 22-year period of operation, an increase in strength by 20.8% was found in relation to the design indicator. This result testifies to the positive dynamics of the durability of reinforced concrete structures and indicates their long-term use in the future.
Conclusions. The results of the study allow us to conclude that the durability of the considered reinforced concrete lining blocks depends on the technical condition of their elements.

Keywords: metro, tunnels, lining blocks, strength, concrete

For citation: Smirnov D.S., Fomina Y.A. Study of the durability of reinforced concrete blocks for tunnel lining on the example of the Kazan Metro // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 286-293, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_286, EDN: VEUFIY

1. Введение

Метрополитен это экологичный и безопасный вид транспорта. В крупных городах по объему пассажирских перевозок он превышает альтернативные виды городского общественного транспорта. Первая линия метро, протяженностью 6 км, проложенная в 1863 году в Лондоне, строилась со значительными перерывами в течение 8 лет. Более того на согласование этого революционного на тот момент проекта, потребовалось около 25 лет. На сегодняшний день общая протяженность линий метро во всем мире составляет более 11000 км, а скорость прокладки одной линии составляет в среднем 3 км в год. По мере развития технологии строительства метрополитенов, совершенствовались и применяемые материалы. Прогрессивные технологии в области производства бетона позволили со временем заменить дорогостоящие чугунные тюбинги на железобетонные. На сегодняшний день, за счет использования инновационных технологий и материалов, возможно обеспечение бетону таких физико-механических характеристик, которые позволят отказаться и от оклеечной гидроизоляции наносимой на наружный контур кольца обделки тоннеля [1-3].

Метрополитены относятся к уникальным объектам, срок службы которых должен составлять не менее 100 лет. Следовательно, материалы, из которых выполнены данные сооружения, должны обладать высокой долговечностью и надежностью [4-6]. В процессе эксплуатации на конструкции метро оказывают влияние внешняя среда, а также силовые факторы, такие как давление грунта и динамические воздействие от подвижного состава. Поэтому крайне важно осуществлять мониторинг состояния конструкций метрополитена, и особенно тоннелей, внешний визуальный осмотр которых затруднен. Необходимо своевременно фиксировать наличие деструктивных процессов в материале, изменение критических характеристик, правильно устанавливать причины наблюдаемых явлений и по возможности устранять их Необходимая долговечность может быть обеспечена только при соблюдении правил проектирования, технологии производства строительно-монтажных работ, а также применении качественных, современных материалов [7-9].

Бетон это конструкционный материал, поэтому прочность является одной из главных его характеристик, а для железобетонной обделки тоннеля является наиболее значимой при оценке долговечности и дальнейшего прогнозирования сроков службы, т.к. циклических температурных переходов через ноль градусов в тоннелях метрополитена в большинстве случаев не наблюдается [10].

Целью данной работы является оценка фактической прочности бетона в тоннелях Казанского метрополитена изготовленных в разный период и построение кинетической кривой изменения прочности во времени.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи: определение наиболее значимых внешних воздействий, влияющих на работоспособность конструкций; выбор методов оценки значимых характеристик для построения кривой прогноза; формирование базы данных контролируемых параметров и создание на их основе прогностической модели изменения характеристик конструкции в процессе эксплуатации.

2. Материалы и методы

Предметом исследования были железобетонные блоки обделки (тюбинги) тоннелей Казанского метрополитена, произведённые в 2001-2022 годах на заводе ЖБИ (железобетонные изделия) «Казметрострой» (рис.1).

В соответствии с нормативной и проектной документацией: блоки должны изготовляться из бетона класса В45 и по водонепроницаемости W10 с допускаемыми отклонениями в определенных размерах и арматурной сталью классов А240 (А-1), А400 (А-III). Бетонная смесь для блоков должна включать не менее двух фракций крупного заполнителя (например, 5-10 и 10-20 мм), мелкий заполнитель с модулем крупности М = 2…3; предел прочности при сжатии крупного заполнителя должен быть не ниже 1200. Разработанный состав бетона включает, помимо цемента, мелкого и крупного заполнителя и воды, полифункциональный модификатор из суперпластификатора и ускорителя твердения. Помимо соотношения компонентов, к составу бетона предъявляются требования к применению портландцемента бездобавочного марок 500 и 600 определенного минералогического состава трех заводов России, крупного заполнителя одного – Шершневского месторождения. В качестве мелкого заполнителя рекомендовано использовать местный песок, возможность применения которого доказана в процессе испытаний свойств бетона. Подобранный состав бетона обеспечивает получение класса бетона по прочности при сжатии не ниже В45, по морозостойкости F300 и водонепроницаемости W12 [6,7].

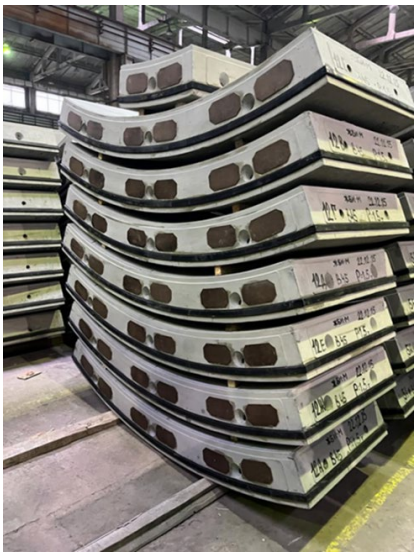


Рис. 1. Железобетонные блоки обделки тоннелей (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Reinforced concrete blocks for tunnels lining (illustration by the authors)

При формировании базы данных прочностных характеристик проводилось по 20 измерений на каждом участке входной зоны тоннелей казанского метрополитена (использовались входные зоны от станции метро Кремлёвская до станции Дубравная) в каждом направлении (рис. 2) в соответствии с ГОСТ 2269-2015. Для получения данных использовался измеритель прочности бетона ИПС-МГ4.01 – это прибор, определяющий прочность бетона неразрушающим механическим методом [8].

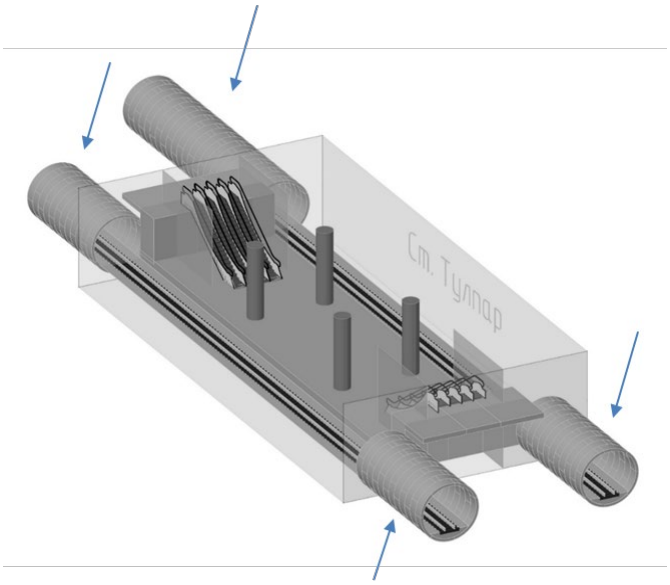


Рис.2. Модель станции метро и входных зон тоннелей (стрелками указаны места снятия прочностных характеристик блоков)
(иллюстрация авторов)
Fig.2. Model of the metro station and the entrance areas of tunnels (arrows indicate the places where the strength characteristics of the blocks are taken)
(illustration by the authors)

3. Результаты и обсуждение

На основании сформированной базы данных рассчитаны для каждого блока определенного возраста средние показатели прочности Rcp (МПа) и среднеквадратические отклонения σ (МПа) [9-11]. Данные показатели отражены в таблице 1.

Таблица 1

Рассчитанные показатели железобетонных блоков

Возраст блока, лет	Rcp, МПа	σ, МПа
1	59,22	3,13
4	62,41	3,41
5	67,40	6,57
15	69,17	6,36
16	68,02	5,45
18	68,75	6,70
19	70,59	6,27
20	68,94	6,70
21	68,64	6,06
22	69,80	6,02

Также построен график изменения прочности бетона на протяжении 22 летнего срока эксплуатации тюбингов тоннелей. Для построения графика был использован программный комплекс MathCAD [12].

Последовательность построения представлена ниже:

1. Построение функции изменения прочности бетона согласно рассчитанным данным.

$$X := \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 5 \\ 15 \\ 16 \\ 18 \\ 19 \\ 20 \\ 21 \\ 22 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 59.22 \\ 62.41 \\ 67.40 \\ 69.17 \\ 68.02 \\ 68.75 \\ 70.59 \\ 68.94 \\ 68.64 \\ 69.80 \end{pmatrix} \quad s := \begin{pmatrix} 3.31 \\ 3.41 \\ 6.57 \\ 6.36 \\ 5.45 \\ 6.70 \\ 6.27 \\ 6.70 \\ 6.06 \\ 6.02 \end{pmatrix}$$

2. Построение аппроксимирующей кривой F при помощи функции pwrfit(vx, vy, vg). Данная функция возвращает вектор, содержащий коэффициенты кривой мощности вида a*x^b + c, которая наилучшим образом аппроксимирует данные в векторах vx и vy. Вектор vg содержит начальные приближения для этих трех коэффициентов. [13]

$$K = \text{pwrfit}\left[X, Y, \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}\right] \quad (1)$$

$$K = \begin{pmatrix} 1.252 * 10^{6} \\ 2.65 * 10^{-6} \\ -1.252 * 10^{6} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$F = K_0 * X^{K_1} + K_2 \quad (3)$$

3. Функции доверительных интервалов F1 и F2 были построены следующим образом:

$$N := 20$$

$$\alpha := 0.1$$

$$qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, N - 1\right) = 1.729 \quad (4)$$

$$\varepsilon := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, N - 1\right) * \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

$$K1 = pwrfit\left[X, s, \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}\right] \quad (6)$$

$$K1 = \begin{pmatrix} 5.158 * 10^{5} \\ 2.009 * 10^{-6} \\ -5.158 * 10^{5} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\varepsilon := K1_0 * X^{K1_1} + K1_2 \quad (8)$$

$$F1 := F + \varepsilon \quad (9)$$

$$F2 := F - \varepsilon \quad (10)$$

4. Функция F3 представляет собой проектное значение прочности бетона равное 57,8 МПа (класс бетона В45) [14-15].

В результате был построен следующий график, представленный на рисунке 3.

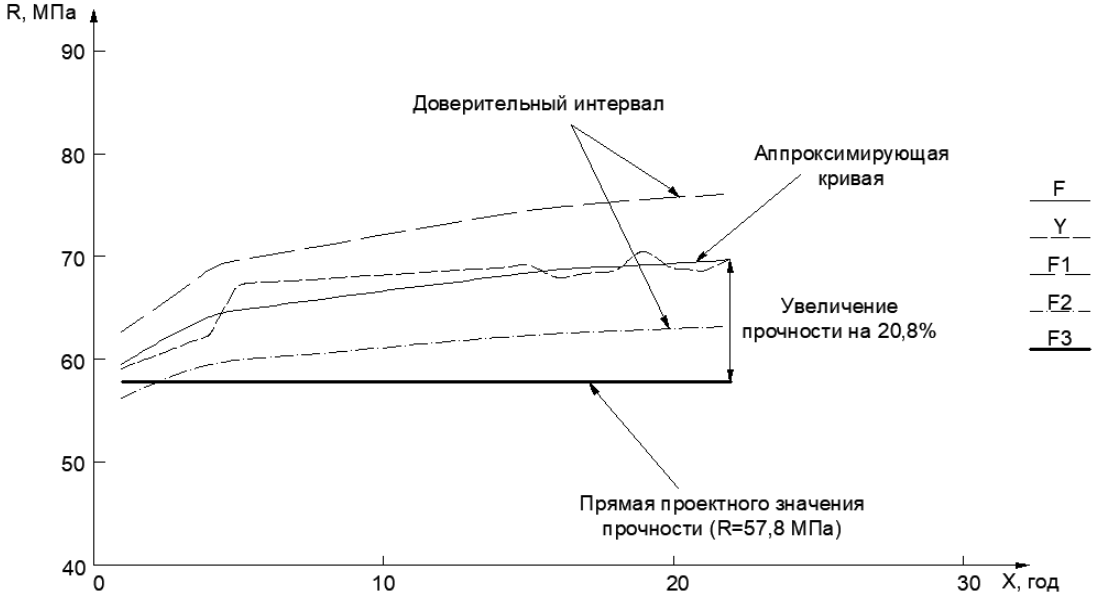


Рис. 3. График изменения прочности блоков тоннелей Казанского метрополитена (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Graph of changes in the strength of the blocks of tunnels of the Kazan metro (illustration by the authors)

Условия, в которых эксплуатируется тоннель Казанского метрополитена можно считать благоприятными для бетона обделки, поскольку в нем всегда сохраняется положительная температура и достаточно высокая влажность. В целом полученная кинетическая кривая изменения прочности бетона согласуется с общепринятой теорией твердения цементных систем. Наблюдаемый прирост прочности постепенно замедляется, что очевидно потребует проведения повторного мониторинга конструкций в ближайшие годы.

4. Заключение

Поскольку в тоннелях Казанского метрополитена сохраняется положительная температура и высокая влажность, основной характеристикой позволяющей получить прогностическую модель и оценить долговечность железобетонных конструкций, является прочность. Используя неразрушающие методы контроля прочности железобетонных блоков, произведенных в разное время, можно выявить кинетику изменения данной характеристики, т.е оценив фактическую прочность бетона в тоннелях Казанского метрополитена можно построить кинетическую кривую изменения прочности во времени.

В результате проведения исследования получена функция, позволяющая прогнозировать изменение прочности бетона блоков обделки Казанского метрополитена в процессе эксплуатации. За период эксплуатации (22 года) наблюдается увеличение прочности по отношению к проектному показателю на 20,8 %. Однако данный процесс не линеен и прирост прочности со временем замедляется. Поэтому в ближайшие годы, вероятно, потребуется проведение повторного обследования.

Список литературы/References

1. Von Der Tann L, Sterling R., Zhou Y., Metje N. Systems approaches to urban underground space planning and management. A review // Underground Space (China). 2020. Vol. 5. No. 2. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.03.003
2. Cui J., Broere W, Lin D. Underground space utilisation for urban renewal // Tunnelling and Underground Space Technology. 2021. Vol. 108. No 5. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103726.

3. Дашко Р.Э. Котюков П.В. Влияние гидрогеологических условий на безопасность освоения подземного пространства при строительстве транспортных тоннелей. // Записки Горного института Санкт-Петербург. 2012. №199. С. 9-16. [Dashko R.E. Kotyukov P.V. Influence of hydrogeological conditions on the safety of underground space development during the construction of transport tunnels. // Notes of the Mining Institute of St. Petersburg. 2012. No.199. P. 9-16.]
4. Закоршменный И.М., Закоршменный А.И. Водопроявления в тоннелях с высокоточной железобетонной обделкой и способы их устранения //Горный информационно- аналитически бюллетень. 2022. №4. С. 17-32. [Zakorshmenny I.M., Zakorshmenny A.I. Water manifestations in tunnels with high-precision reinforced concrete lining and ways to eliminate them //Mining information and analytical bulletin. 2022. No. 4. P. 17-32.]
5. Баженов Ю.М., Баженова С.И., Алексеев В.А., Глейзер М.А. Метод повышения долговечности бетонных конструкций наземных транспортных сооружений // Современная техника и технологии. 2018. №3. С. 26-31. [Bazhenov Yu.M., Bazhenova S.I., Alekseev V.A., Glazer M.A. Method of increasing the durability of concrete structures of ground transport structures // Modern technique and technologies. 2018. No.3. P. 26-31.]
6. Рахимов Р.З., Смирнов Д.С., Хайретдинов М..Г., Рахимов М.М. Резиновые уплотнительные прокладки железобетонных блоков обделки тоннеля метрополитена // Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций. Научнотехнический альманах. 2001. №2-3. С. 29-35. [Rakhimov R.Z., Smirnov D.S., Khayretdinov M.G., Rakhimov M.M. Rubber sealing gaskets of reinforced concrete blocks lining the subway tunnel // Problems of development of transport and engineering communications. Scientific and technical almanac. 2001. No.2-3. P. 29-35.]
7. Герасименко А.А., Козлов М.В. Обеспечение долговечности объектов транспортной инфраструктуры // Молодой учёный. 2020. №23 (313). С. 159-161. [Gerasimenko A.A., Kozlov M.V. Ensuring the durability of transport infrastructure facilities // Young scientist. 2020. No.23 (313). P. 159-161.]
8. Плешко М.С., Плешко М.В., Войнов И.В. Оценка технического состояния железнодорожных тоннелей с большим сроком эксплуатации // Горный информационно- аналитический бюллетень. 2018. №1. С. 34-40. [Pleshko M.S., Pleshko M.V., Voynov I.V. Assessment of the technical condition of railway tunnels with a long service life // Mining information and analytical bulletin. 2018. No. 1. P. 34-40.]
9. Тошин Д.С., Ровенская Е.А. Влияние условий длительного твердения на прочность тяжелого бетона // Тольяттинский государственный университет. 2020. №2(45). С. 71-75. [Toshin D.S., Rovenskaya E.A. Influence of long-term hardening conditions on the strength of heavy concrete // Togliatti State University. 2020. No.2(45). P. 71-75.]
10. Cui J., Broere W., Lin D. Underground space utilisation for urban renewal. Tunnelling and Underground Space Technology. 2021. Vol. 108. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103726.
11. Татаров Р.О., Дайронас М.В., Лениш А.Ф. Новые виды бетона: Виды, характеристики, особенности // Университетская наука. 2022. №2(14). С. 95-97. [Tatarov R.O., Dayronas M.V., Lenish A.F. New types of concrete: Types, characteristics, features // University science. 2022. No.2(14). P. 95-97.]
12. Поджарова. К.Д., Быкова А.С., Рыба Н.С., Астапкович Н.П., Краснопер А.Д., Кильб А.С., Верминская Т.В. Оценка надежности железобетонных конструкций // Сибирский федеральный университет. 2019. №5. С.32. [Podzharova. K.D., Bykova A.S., Ryba N.S., Astapkovich N.P., Krasnoper A.D., Kilb A.S., Verminskaya T.V. Reliability assessment of reinforced concrete structures // Siberian Federal University. 2019. No.5. P.32]
13. Xiangsheng Chen Research on combined construction technology for cross-subway tunnels in underground spaces // Engineering. 2018. Vol. 4. No. 1. DOI: 10.1016/j. eng.2017.08.001.

14. Yajie Xu, Xiangsheng Chen Quantitative analysis of spatial vitality and spatial characteristics of urban underground space (UUS) in metro area // Tunnelling and Underground Space Technology. 2021. Vol. 111. DOI: 10.1016/j.tust.2021.103875.
15. Ивойлов М.М., Павлова А.И. К вопросу о методиках определения прочности бетона при проведении обследований зданий и сооружений // Сборник докладов Национальной конференции с международным участием. 2022. №2. С. 114-118. [Ivoilov M.M., Pavlova A.I. On the issue of methods for determining the strength of concrete during surveys of buildings and structures // Collection of reports of the National Conference with international participation. 2022. No. 2. P. 114-118.]

Информация об авторах

Смирнов Денис Сергеевич, кандидат технических наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Фомина Яна Александровна, инженер - проектировщик 3 категории, АО Институт Татдорпроект, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: yana-lora@mail.ru

Information about the authors

Denis S. Smirnov, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russian Federation
Email: Denis27111974@yandex.ru
Yana A. Fomina, design engineer of the 3rd category, Tatdorproekt Institute, Kazan, Russian Federation
Email: yana-lora@mail.ru

УДК: 691.545
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_294
EDN: VLGWCP

Минеральные пигменты из местного сырья Республики Татарстан

З.А. Камалова[1], Е.Ю. Ермилова[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Вместе с увеличением объемов производства и постоянным улучшением эстетических характеристик декоративных строительных материалов, растет необходимость разработки доступных и высокоэффективных пигментов, производство которых несло бы малую нагрузку на экологию окружающей среды, и обладало как небольшими энергозатратами, так и малыми транспортными расходами. В связи с этим, растет популярность использования местных природных пигментов на основе природных минеральных ресурсов, особое место среди которых занимают глинистые, кремнеземистые и карбонатные породы. *Целью работы* явилось определение возможности и оценка целесообразности получения железоокисных, глинистых и кремнеземистых пигментов из местных природных минеральных материалов в качестве окрашивающих добавок в строительные материалы. *Задачами исследования* явилось изучение таких основных свойств полученных пигментов, как маслоемкость и укрывистость. Кроме того, было исследовано влияние основных методов обработки, таких, как магнитная сепарация, измельчение, отмучивание, рассев, обжиг, на свойства получаемых пигментов. *Результаты.* Проведенный анализ возможности использования различных природных материалов Республики Татарстан, показал перспективность использования последних в качестве сырья для получения минеральных пигментов различного типа и назначения. *Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что полученные результаты позволяют расширить номенклатуру пигментов из местных природных материалов.

Ключевые слова: природные пигменты, глина, карбонатная порода, глауконитсодержащие породы, болотные железные руды

Для цитирования: Камалова З.А., Ермилова Е.Ю. Минеральные пигменты из местного сырья Республики Татарстан // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 294-300, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_294, EDN: VLGWCP

Mineral pigments from local raw materials of Tatarstan Republic

Z.A. Kamalova [1], E.Yu. Ermilova[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. Along with the increase in production volumes and the constant improvement of aesthetic characteristics of decorative building materials, there is a growing need to develop affordable and highly effective pigments, the production of which would have low impact on the environment, and would have both low energy consumption and low transport costs. In this connection, the popularity of using local natural pigments based on natural mineral resources is growing. The special place among those resources is taken by clayey, siliceous and calcareous rocks. The purpose of the work was to determine the possibility and assess the feasibility of obtaining iron oxide, clay and silica pigments from local natural

mineral materials as additives in building materials. The objective of the research was to study such basic properties of the resulting pigments such as the oil absorption and hiding power. We also investigated the influence of basic processing methods, such as magnetic separation, grinding, elutriation, sieving, and firing on the properties of the resulting pigments. *Results*. The analysis of the possibility of using various natural materials of Tatarstan Republic showed the prospects of using the latter as raw materials for the production of mineral pigments of various types and purposes.
Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that the results obtained make it possible to expand the range of pigments from local natural materials.

Keywords: natural pigments, clay, carbonate rock, glauconite rock, bog iron ores

For citation: Kamalova Z.A., Ermilova E.Yu. Mineral pigments from local raw materials of Tatarstan Republic // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 294-300, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_294, EDN: VLGWCP

1. Введение

В современном строительстве жилых домов, зданий и других сооружений при их облицовке и оформлении интерьеров, также в ландшафтном дизайне стало актуальным использование цветных строительных материалов, поэтому растут требования к их декоративным и эстетическим качествам [1-3]. Вместе с тем, производимые без определенных добавок строительные материалы со временем могут терять свои декоративные свойства [4]. Например, силикатные материалы с течением времени сереют. Основным свойством пигментов для строительных материалов является их способность выдерживать обработку паром и влияние щелочной среды [5]. При этом вводимые в состав материалов пигменты не должны отрицательно влиять на их физико-эксплуатационные свойства [5-7].

В последние несколько десятков лет объемное окрашивание бетонов, цементов, сухой штукатурки, силикатного кирпича и черепицы осуществляется с применением минеральных пигментов природного происхождения [8-11].

Природные минеральные пигменты – это разноцветные горные породы и минералы, которые после определенной обработки в комплексе со связующими материалами придают устойчивую окраску как при поверхностном, так и при объемном окрашивании. Им присущи такие свойства, как хорошая яркость, однородность и устойчивость окраски, а также немаловажные свойства: долговечность и стойкость к воздействию природных и техногенных факторов, хорошая технологичность, низкая стоимость. Стоит также отметить их широкую территориальную распространенность и доступность месторождений по отношению к строительным базам и производствам. Кроме всего прочего, природные пигменты в большинстве случаев устойчивы к воздействию ультрафиолетового излучения, что делает их привлекательными целях ведения наружных дизайнерских работ.

В Татарстане работами последних лет выявлены и оценены месторождения и проявления минеральных красителей разного типа [12]. Основное практическое значение среди них имеют железоокисные (болотные железные руды) [13,14], глинистые (цветные глины, охристые глины) [15] и кремнеземистые пигменты [12,16]. Кроме того, следует отметить широкое развитие в пределах Республики карбонатных пород и гипса, пригодных для использования в качестве белого пигмента.

Целью работы явилось определение возможности и оценка целесообразности получения железоокисных, глинистых и кремнеземистых пигментов из местных природных минеральных материалов в качестве добавок в строительные материалы.

Основной задачей исследования явилось изучение таких основных свойств полученных пигментов, как маслоемкость и укрывистость. Кроме того, было исследовано влияние основных методов обработки, таких, как магнитная сепарация, измельчение, отмучивание, рассев, обжиг, на свойства получаемых пигментов.

2. Материалы и методы

Эксперимент проводился с использованием как исходного минерального сырья, так и сырья после обработки наиболее простыми и дешевыми способами, например, для глинистого сырья использовались методы отмучивания (освобождение от песчаных и алевритовых частиц) и удаления крупных посторонних примесей вручную; для сырья кремнеземистого типа использовались: магнитная сепарация (в целях увеличения содержания минерала глауконита), рассев до достижения однородности и наибольшей степени дисперсности получаемого материала, отмучивание. Для приготовления красок основе глауконитсодержащих пород из кремнеземистых и глинистых пигментов применялось предварительное измельчение последних после электромагнитной сепарации. Использовался также обжиг исходного сырья для получения пигментов разного цвета.

В качестве известняков рассматривалось сырье следующих месторождений: Чепчуговское, Камаевское, Бондюжское, Аверьяновское, Каркалинское, Мамадышское, Набережно-Морквашинское, Каркакилинское, Бимерское, Тимофеевское, Печищенское, Чепчуговское, Елховское, Салтыковское. Данное сырье характеризуется содержанием $CaCoO_3$ более 90%, и $MgCO_3$ менее 2%.

В качестве доломитовой муки применялось сырье месторождений: Апастовского, Тетюшского, Зеленодольского, Лаишевского. Все они окрашены окислами железа в желтые цвета разных оттенков, и содержат 14-19% Fe_2O_3 и 25-30% $CaCO_3$.

В качестве карбонатных охр рассматривалось сырье Тетюшского района (Сюкеевское, Атрясинское), которое включают в себя мелкие зерна доломита 25-35%, агрегаты гидроокиси железа (гётит и гидрогетит – 40-50%) и незначительную примесь кварца и полевого шпата (3-5%).

Для получения кремнеземистых пигментов были использованы алевриты глауконитовые и глауконитовый песок Сюндюкского, Вожжинского, Долиновского и Старо-Шаймуратовского месторождений фосфоритов, которые содержат Fe_2O_3 8-14%.

В Республике Татарстан имеются перспективы выявления глинистых пигментов из различных по составу и генезису цветных глин и глинистых пород. Причем, по всей территории РТ среди верхнепермских отложений широко распространены цветные глины желтых, розовых, красных, коричневых, фиолетовых и других ярких цветов. Основные требования к глинам в качестве пигмента: оригинальный цвет, содержание Fe_2O_3 более 5-8%, высокая дисперсность (частицы размерами менее 0,1 мм должны составлять 80-85%), минимальное содержание известковых и песчаных частиц. Для экспериментов бял приянты глины Чебаксинского, Алекино-Полянского, Чупаевского и Старо-Абдульского проявлений РТ, удовлетворяющие приведенным выше требованиям.

Наиболее изученными являются железоокисные пигменты типа сурик, мумие и охра, получаемые из болотных железных руд. Они представляют собой рыхлую, хорошо растирающуюся в пальцах порошкообразную породу. Среди 20 разведанных и оцененных месторождений РТ следует выделить болотные руды Староанзирского, Кзыл-Илинского, Березовского, Калининского месторождений, которые и были использованы в ходе эксперимента. Их характеризует содержание железа от 12-15% до 70-73%.

В качестве критериев для оценки свойств и качества получаемых красок были приняты маслоемкость и укрывистость.

Маслоемкость определялась по ГОСТ 2119.8-75 так называемым методом с помощью палочки. Суть метода заключается в постепенном добавлении льняного масла к навеске испытываемого пигмента, перетирании его палочкой до однородной массы. Маслоемкость определяется отношением массы израсходованного масла к массе навески на 100 г пигмента.

Укрывистость определялась по визуальному методу с помощью шахматной доски. Этот метод заключается в том, чтобы наносить лакокрасочное покрытие на стеклянную пластину до тех пор, пока не перестанут быть видны квадраты шахматной доски при наложении на нее окрашенной пластины. Укрывистоть определяется как отношение массы использованной краски к площади пластины (г/м^2).

3. Результаты и обсуждение

В ходе экспериментальных исследований были изучены малярно-технические свойства железоокисных (болотные железные руды), глинистых (цветные глины, охристые глины) и кремнеземистых пигментов Республики Татарстан, относящихся к наиболее перспективным месторождениям. Малярно-технические свойства некоторых крупных месторождений исследованных типов минеральных пигментов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Свойства

Название месторождения	Характерный цвет	Укрывистость, г/м^2		Маслоемкость, %
		на клею	на масле	
Кремнеземистый тип				
Сюндюковское	Зеленовато-серый	-	60-70	30-40
Глинистый тип				
Кощаковское	Коричневато-красный	-	50-60	25-35
Чебаксинское	Коричневато-красный	-	24-60	30-40
Алекино-Полянское	Коричневато-красный	-	42	25-40
Тюлячинское	Красно-бурый	-	38-40	25-40
Карбонатный тип				
Камаевское	Желтовато-серый	35	230-240	25-30
Сюкеевское	Кремовато-желтый	15-40	40-60	25-30
Печищенское	Белый	30-35	45-70	20-35
Железоокисный тип				
Березовское	Вишневый, буровато-красный	-	20-25	25-30
Кзыл-Илинское	Вишнево-бурый	-	19-23	23-30

Сырье отмеченных месторождений известняков, пригодных для получения извести 1-2 сорта, характеризуется средней укрывистостью (на клею составляет 31-57 г/м^2, на масле – 230/270 г/м^2), и маслоемкостью – 22-24 %. Полученные извести апробирована в качестве клеевой и силикатной краски.

Залежи доломитовой муки широко распространены на западе РТ по правобережью Волги и Камы (Апастовский, Тетюшский, Зеленодольский, Лаишевский и др.). они окрашены окислами железа в желтые цвета разных оттенков.

Доломитовая мука Лаишевского, Сорочинского, Чепчуговского месторождений показала при испытаниях укрывистость – 100-130 г/м^2, маслоемкость – 25-35 %.

Значительно ожелезненная доломитовая мука с содержанием Fe_2O_3 – 50-70% называется «карбонатная охра». Карбонатные охры Сюкеевского, Атрясинского месторождений Тетюшского района имеют желтый и кремово-желтый цвет. В ходе испытаний они показали хорошую кроющую способность: на масле – 40-60 г/м^2, на клею – 6-40 г/м^2, маслоемкость – 18-31%. Обжиг сырья при температуре 900 °С приводит к получению пигмента красного цвета, улучшению укрывистости 35-40 г/м^2 на масле, маслоемкости – 20-25%.

Карбонатная охра после истирания и просева через сито 0,005 мм может быть использована в качестве силикатной краски для окрашивания цемента, бетона и силикатного кирпича.

Кремнеземистые пигменты РТ представлены глауконитом, который встречается среди мезозойских отложений юго-запада РТ. Алевриты глауконитовые и глауконитовый песок Сюндюкского, Вожжинского, Долиновского и Старо-Шаймуратовского месторождений фосфоритов. После обогащения отмучиванием и магнитной сепарацией содержание глауконита увеличилось до 70-90%, содержание Fe_2O_3 – до 17-23%. При обжиге до температуры 400-700 °С цвет изменяется от светло-зеленого и болотно-зеленого до светло-розового, золотисто-розового, золотисто-бежевого, бежево-розового, темно-коричневого, красного и черного. Маслоемкость пигмента составляет при этом – 25-30%, укрывистость – 80-100 г/м^2.

Глины, пригодные в качестве глинистого пигмента – это глины Кощаковского, Чебаксинского, Алекино-Полянского, Старо-Абдульского проявлений РТ, характеризуются яркими красными, вишневыми, фиолетовыми и желтыми цветами. В результате экспериментов выявлено, что им присущи неплохие малярно-технические свойства: маслоемкость составила 25-45%, укрывистость – 24-60 г/м^2.

Проведенные испытания показали возможность использования глин ряда месторождений и проявлений в естественном виде после помола как пигментов желто-красных цветов для получения силикатных, акварельных и художественных красок, изготовления цветных шпаклевок, замазок и цветной штукатурки.

Для получения железоокисных пигментов типа сурик, мумие и охра, применялись болотные железные руды Староанзирского, Кзыл-Илинского, Березовского, Калининского месторождений, с ярко выраженными буровато-оранжевыми и оранжевыми цветами. В ходе эксперимента было выявлено, что они пригодны для получения качественных пигментов типа сурика и мумии с высокой укрывистостью порядка 20-30 г/м^2, низкой маслоемкостью – 20-35%, при этом, по всем параметрам согласно ГОСТ свойства не отличаются от аналогичных железоокисных пигментов, которые получают из железоокисленных руд. Кроме того, введение 7-10% таких пигментов в строительные материалы не только позволяет производить объемное окрашивание, так и не ухудшает эксплуатационные свойства данных материалов. Кроме всего прочего, болотные руды РТ характеризуются близким минеральным и химическим составом, незначительной глубиной залегания до 1-1,5 м, что с практической точки зрения делает их достаточно универсальным и легко добываемым сырьем.

Исследования показали возможность получения из болотных руд пигментов светло-коричневого, коричневого, красно-коричневого и черного цветов путем обжига в электрических и газовых печах с последующим измельчением. Пигмент черного цвета был получен созданием восстановительных условий с помощью герметично закрытой печи без доступа кислорода воздуха. Коричневый и красный цвет пигмента приобретался в окислительных условиях путем регулирования температуры и времени обжига.

Полученные данные о возможности и целесообразности применения болотных руд, глинистого и кремнеземистого сырья в качестве природных неорганических пигментов в строительные материалы, коррелируются с данными полученными и опубликованными ранее [11,13,15]. Кроме того, полученные результаты не только не противоречат ранее опубликованным работам, но в определенной степени дополняют известные результаты [1,5].

4. Заключение

Проведенный анализ возможности использования различных природных материалов Республики Татарстан, показал перспективность использования последних в качестве сырья для получения минеральных пигментов различного типа и назначения. Стоит отметить, что Республика обладает, главным образом, сырьевой базой для производства пигментов красно-желтой гаммы цветов, о чем свидетельствуют проведенные исследования пригодности болотных железных руд, а также некоторых месторождений песчаников и глин.

Получены также железоокисные пигменты черных и коричневых цветов из болотных руд. Для получения зеленых пигментов оказались пригодными глауконитсодержащие породы.

Стоит отметить, что применение определенных методов обработки тех или иных природных материалов позволяет расширить цветовую гамму получаемых пигментов.

Список литературы/ References

1. Shue Li, Bin Mu, Xiaowen Wang, Aiqin Wang. Recent researches on natural pigments stabilized by clay minerals: A review // Dyes and Pigments. Vol. 190. 2021. 109322. DOI: 10.1016/j.dyepig.2021.109322
2. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N. Influence of the inorganic modifier structure on structural composite properties // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 19. P. 40617-40622.

3. N.T.R.N. Kumara et al. Recent progress and utilization of natural pigments in dye sensitized solar cells: a review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 78. 2017. P. 301-317. DOI: 10.1016/j.rser.2017.04.075
4. Черепанова И.А., Логанина В.И., Щвецов А.В., Ломов М.И. Окрашенные строительные композиты с использованием полифункционального минерального пигмента // В сборнике: Природоподобные технологии строительных композитов для защиты среды обитания человека. II Международный онлайн-конгресс, посвященный 30-летию кафедры Строительного материаловедения, изделий и конструкций, Белгород, 2019. С. 762-766. [Cherepanova I.A., Loganina V.I., Shvetsov A.V., Lomov M.I. Painted building composites using multifunctional mineral pigment // In the collection: Nature-like technologies of building composites for protecting the human environment. II International Online Congress dedicated to the 30th anniversary of the Department of Construction Materials Science, Products and Structures, Belgorod, 2019. P. 762-766.]
5. Рудаков О.Б., Хорохордин А.М., Рудаков Я.О., Черноусова О.В. Контроль параметров цветности цементов, содержащих минеральные добавки и пигменты // Техника и технология силикатов. 2021. Т. 28. № 4. С. 195-200.[Rudakov O.B., Khorokhordin A.M., Rudakov Ya.O., Chernousova O.V. Control of color parameters of cements containing mineral additives and pigments // Engineering and technology of silicates. 2021. V. 28. № 4. P. 195-200.]
6. Черноусова О.В., Рудаков О.Б. Цифровые изображения в аналитической химии для количественного и качественного анализа // Химия, физика и механика материалов. 2019. №2. С. 55-125.[Chernousova O.V., Rudakov O.B. Digital images in analytical chemistry for quantitative and qualitative analysis // Chemistry, physics and mechanics of materials. 2019. № 2. P. 55-125.]
7. Khuziakhmetova, K. Polymer mixtures based on polyvinyl chloride for the production of construction materials / K. Khuziakhmetova, L. Abdrakhmanova, R. Nizamov // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 169. – P. 14-21. – DOI 10.1007/978-3-030-80103-8_2. – EDN TDMAAU.
8. Ильина В.П. Керамический пигмент на основе пироксенита // Стекло и керамика. 2020. №12. С. 20-26.[Ilyina V.P. Ceramic pigment based on pyroxenite // Glass and ceramics. 2020. № 12. P. 20-26.]
9. Буйволова М.А., Лукьяненко С.Г. Краски на основе минерального пигмента // В сборнике: Минералогия и музеи: синергия науки и искусства. Материалы научного семинара, посвященного году минералогии, объявленному Международной минералогической ассоциацией (IMA), и 205-летию со дня основания Российского минералогического общества, Иркутск, 2022. С. 21-29.[Buivolova M.A., Lukyanenko S.G. Paints based on mineral pigment // In the collection: Mineralogy and museums: synergy of science and art. Proceedings of a scientific seminar dedicated to the year of mineralogy declared by the International Mineralogical Association (IMA) and the 205th anniversary of the founding of the Russian Mineralogical Society, Irkutsk, 2022. P. 21-29.]
10. Фомина Н.Н., Исмагилов А.Р. Исследование дисперсности пигментов и наполнителей лакокрасочных материалов // Эксперт: теория и практика. 2020. №3 (6). С. 74-79. [Fomina N.N., Ismagilov A.R. The study of the dispersion of pigments and fillers of paints and varnishes // Expert: theory and practice. 2020. № 3 (6). P. 74-79.]
11. Абу-Хасан М.С. Исследование жёлтых пигментов на основе некоторых минеральных отходов // В сборнике: Геоэкохимия защиты литосферы. Материалы IV Международной научно-практической конференции. 2018. С. 52-55.[Abu-Hasan M.S. The study of yellow pigments based on some mineral waste // In the collection: Geoecochemistry of lithosphere protection. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference. 2018. P. 52-55.]
12. Камалова З.А., Медяник Ю.В., Ермилова Е.Ю., Рахимов Р.З., Стоянов О.В. Оценка возможности использования глинистых и кремнеземистых пигментов РТ для окрашивания строительных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 16. С. 37-40.[Kamalova Z.A., Medyanik Yu.V., Ermilova

E.Yu., Rakhimov R.Z., Stoyanov O.V. Assessment of the possibility of using clay and silica pigments of RT for coloring building materials // Bulletin of the Kazan Technological University. 2014. V. 17. № 16. P. 37-40.]

13. Фоменко А.И. Железооксидные пигменты на основе болотных руд // В сборнике: Инновационные направления исследований в сфере естественных и технических наук. сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2019. С. 90-93.[Fomenko A.I. Iron oxide pigments based on swamp ores // In the collection: Innovative directions of research in the field of natural and technical sciences. collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference. Agency for Advanced Scientific Research (APNI), 2019. P. 90-93.]
14. Камалова З.А., Дьячков И.В., Смирнов Д.С. Оптимизация режимов термической обработки болотных руд, пригодных для получения железооксидных пигментов. Материалы XV Академических чтений РААСН международной научно-технической конференции «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии», том I. Казань, 2010. С. 230-234.[Kamalova Z.A., Dyachkov I.V., Smirnov D.S. Optimization of thermal treatment regimes for bog ores suitable for producing iron oxide pigments. Materials of the XV Academic Readings of the RAASN international scientific and technical conference “Achievements and problems of materials science and modernization of the construction industry”, volume I. Kazan, 2010. P. 230-234.]
15. Yushen Lu, Wenkai D., Wenbo W., Qin W., Aiping H., Aiqin W. A comparative study of different natural palygorskite clays for fabricating cost-efficient and eco-friendly iron red composite pigments // Applied Clay Science. 2019. Vol. 167. P. 50-59. DOI: 10.1016/j.clay.2018.10.008
16. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Лукшина Е.Д., Морозов В.В. Влияние способа окрашивания на водостойкость силикатных изделий // Вестник Технологического университета. 2021. Т. 24. № 9. С. 53-56.[Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Lukshina E.D., Morozov V.V. The influence of the dyeing method on the water resistance of silicate products // Bulletin of the Technological University. 2021. V. 24. № 9. P. 53-56.]

Информация об авторах

Загира Абдулловна Камалова – кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: zagira_kamalova@mail.ru,
Елизавета Юрьевна Ермилова – кандидат технических наук, старший преподаватель, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: 447-7@mail.ru

Information about the authors

Zagira A. Kamalova, candidate of technical sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: zagira_kamalova@mail.ru,
Elizaveta Yu. Ermilova, candidate of technical sciences, senior lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: 447-7@mail.ru

УДК: 691, 624.138
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_301
EDN: JZUJND

Повышение характеристик дорожных цементогрунтов кремнийорганическими соединениями

Е.А. Вдовин[1], П.Е. Буланов[1], В.Ф. Строганов[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Известно применение отдельных модификаторов – гидрофобизаторов из ряда кремнийорганических соединений для повышения некоторых технологических и эксплуатационных свойств цементогрунтов. Однако системные исследования по влиянию строения и объема алифатического радикала в кремнийорганических соединениях на эффективность модификации дорожных цементогрунтов не проводились. Актуальность исследования обоснована необходимостью обеспечения требуемого уровня прочности и морозостойкости цементогрунтовых слоев дорожных одежд в дорожно-климатических зонах с сезонными и суточными изменениями температур, особенно при частых переходах через 0 °С. Цель работы заключается в анализе и исследовании эффективности влияния кремнийорганических соединений, отличающих объемом алифатического радикала, на физико-механические характеристики дорожных цементогрунтов.
Результаты. Установлено, что модификация цементогрунтов пропил- и метилсиликонатами калия обеспечивает повышение предела прочности на сжатие в пределах от 30 до 45 %, предела прочности на растяжение при изгибе от 28 до 40 %, коэффициента морозостойкости от 64 до 88 % по сравнению с немодифицированными составами. Показано, что при равных уровнях прочностных показателей модифицированных цементогрунтов, влияние пропилсиликоната калия способствует более значительному повышению уровня морозостойкости – на 10-20 %.
Выводы. Показано положительное влияние модификации гидрофобизаторами – кремнийорганическими соединениями, содержащими алкильный радикал, отличающихся по строению и объему. Установлено, что наибольший уровень морозостойкости и прочности обеспечивается при модификации кремнийорганическими соединениями, содержащих пропильный радикал (C_3H_7). Выявлено, что с увеличением объема радикала кремнийорганического соединения возможно снижение оптимального содержания модификатора в дорожных цементогрунтах при повышении характеристик материалов дорожных одежд. Подтверждением данной закономерности являются результаты по определению оптимального содержания исследованных модификаторов, в которых отмечается снижение на 20 % количества пропилсиликоната калия по сравнению с метилсиликонатом калия при различных составах цементогрунтов.

Ключевые слова: цементогрунты, строение кремнийорганических соединений, прочность, морозостойкость, дорожная одежда

Для цитирования: Вдовин Е.А., Буланов П.Е., Строганов В.Ф. Повышение характеристик дорожных цементогрунтов кремнийорганическими соединениями // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 301-309, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_301, EDN: JZUJND

Improving the characteristics of road soil-cement with organosilicon compounds

E.A. Vdovin[1], P.E. Bulanov[1], V.F. Stroganov[1]
[1] Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. It is known to use individual modifiers – water repellents from a number of organosilicon compounds to improve some technological and operational properties of soil-cement. However, systematic studies on the influence of the structure and volume of the aliphatic radical in organosilicon compounds on the efficiency of modification of road soil-cement have not been carried out. The relevance of the study is justified by the need to ensure the required level of strength and frost resistance of cement-soil layers of road pavements in road-climatic zones with seasonal and daily temperature changes, especially with frequent transitions through 0 °C. The purpose of the work is to analyze and study the effectiveness of the influence of organosilicon compounds, differing in the volume of aliphatic radical, on the physical and mechanical characteristics of road soil-cement.
Results. It has been established that modification of soil-cement with potassium propyl and methyl siliconates provides an increase in the compressive strength in the range from 30 to 45 %, the tensile strength in bending from 28 to 40 %, and the freeze-thaw resistance coefficient from 64 to 88 % compared to unmodified compositions. It has been shown that at equal levels of strength parameters of modified soil-cement, the influence of potassium propyl siliconate contributes to a more significant increase in the level of frost resistance – by 10-20 %.
Conclusions: The positive effect of modification with water repellents - organosilicon compounds containing an alkyl radical, differing in structure and volume - has been shown. It has been established that the highest level of freeze-thaw resistance and strength is provided when modified with organosilicon compounds containing propyl radical (C_3H_7). It has been revealed that with an increase in the volume of the radical of an organosilicon compound, it is possible to reduce the optimal content of the modifier in road soil-cement while increasing the characteristics of road pavement materials. This pattern is confirmed by the results of determining the optimal content of the studied modifiers, in which there is a 20% decrease in the amount of potassium propyl siliconate compared to potassium methyl siliconate for different compositions of soil-cement.

Keywords: soil-cement, structure of organosilicon compounds, strength, freeze-thaw resistance, road pavement

For citation: Vdovin E.A., Bulanov P.E., Stroganov V.F. Improving the characteristics of road soil-cement with organosilicon compounds // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 301-309, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_301, EDN: JZUJND

1. Введение

Цементогрунт – это укрепленная смесь, состоящая из различных видов материалов, таких как грунт, цемент, вода и модификаторы при необходимости, полученная в результате смешения и последующего уплотнения механизированным способом [1, 2]. Цементогрунты широко применяется при строительстве автомобильных дорог для стабилизации грунтов верха земляного полотна и в качестве оснований и покрытий дорожной одежды [3]. Основными преимуществами цементогрунта перед традиционными конструкциями дорожных одежд являются: снижение стоимости строительства, экологической нагрузки на окружающую среду, технологических операций на доставку и укладку цементогрунтовой смеси [4, 5]. К недостаткам цементогрунтов, снижающих прочность и морозостойкость, а также требующих повышенного количества вяжущего, следует отнести присутствие в укрепляемом грунте глинистых минералов (монтмориллонит, каолинит и др.) [6]. При увлажнении

укрепленных грунтов, а также попеременного замораживания-оттаивания, эти минералы обуславливают развитие процессов разрушения конструктивных слоев дорожных одежд, приводящих к сокращению срока службы автомобильных дорог [6-8].

В исследованиях [9, 10] установлено, что добавление в грунт только цемента недостаточно для достижения требуемых характеристик по прочности и морозостойкости. Получение требуемых физико-механических свойств цементогрунтов возможно получить или при повышении содержания вяжущего, или при введении модифицирующих добавок.

Наиболее эффективными модификаторами для снижения водопоглощения и повышения морозостойкости являются гидрофобизаторы. В качестве гидрофобизаторов известно применение водорастворимых кремнийорганических соединений – силанов, силоксанов и др. [1113].

Молекулы кремнийорганических соединений состоят из двух частей, противоположных по своей природе и свойствам. Одна часть представляет собой гидрофильные полярные силоксановые цепочки с кремнийкислородными связями, которые вступают в химическую связь с ОН-группами влаги, находящейся в порах и на поверхности грунта, а также с реакционноспособными участками (нескомпенсированными зарядами кристаллической решетки) минеральной части грунта. Кремнийкислородные цепочки ориентируются по направлению к поверхности минеральных частиц. Другая часть кремнийорганических соединений представляет собой гидрофобные углеводородные радикалы, связанные с кремнием и нерастворимые в воде. Они образуют водоотталкивающий слой, ориентированный в направлении от поверхности минеральных частиц в сторону порового пространства [14].

Процесс гидрофобизации основан на ориентированной хемосорбции молекул гидрофобизатора на твердой поверхности, обрабатываемого материала. Для обеспечения устойчивости водоотталкивающих покрытий необходимо, чтобы полярные группы гидрофобизатора были химически связаны с поверхностными атомами или ионами обрабатываемой поверхности. Эти связи образуются в процессе адсорбции кремнийорганических соединений и при протекании поверхностных химических реакций реакционноспособных функциональных групп, входящих в состав гидрофобизатора [14, 15]. Наглядным изображением таких взаимодействий могут служить химические реакции (рис. 1, 2), представленные в работе под руководством В.Г. Батракова [19].

а)
$$\begin{array}{c} | \\ | \text{-OH} \end{array} + \text{X-Si-R} \rightarrow \begin{array}{c} | \\ | \text{-O-Si-R} \\ | \end{array} + \text{HX}$$

где R – алкил, или арил, X – Cl, HO, H, OR и др.

| -OH – схематическое изображение частично реагирующей поверхности гидроксида кальция.

б)
$$\begin{array}{c} | \\ \text{M-OH} \end{array} + \text{X-Si-R} \rightarrow \begin{array}{c} | \\ \text{M-O-Si-R} \\ | \end{array} + \text{HX}$$

где M – Ca, Mg, Al и т.д.

Рис. 1. Химические реакции функциональных групп гидрофобизатора:
а) с гидроксильными группами гидратного покрова поверхности строительных материалов;
б) со структурными гидроксильными группами, входящими в состав строительных материалов (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Chemical reactions of the functional groups of the water repellent:
a) with hydroxyl groups of the hydrate cover of the surface of building materials;
b) with structural hydroxyl groups that are part of building materials (illustration by the authors)

Взаимодействие кремнийорганических соединений различного строения в цементно-минеральных системах (рис. 2) обеспечивает эффективный процесс

гидрофобизации стенок пор и капилляров с образованием пленки мозаичного строения, с органическими радикалами, обращенными в жидкую фазу. В исследованиях В.Г. Батракова установлено, что гидрофобизация обеспечивает повышение уровня морозостойкости цементно-минеральных систем, а выделение газов, в частности водорода (рис. 2 б), способствует образованию структуры материала с большей долговечностью [16].

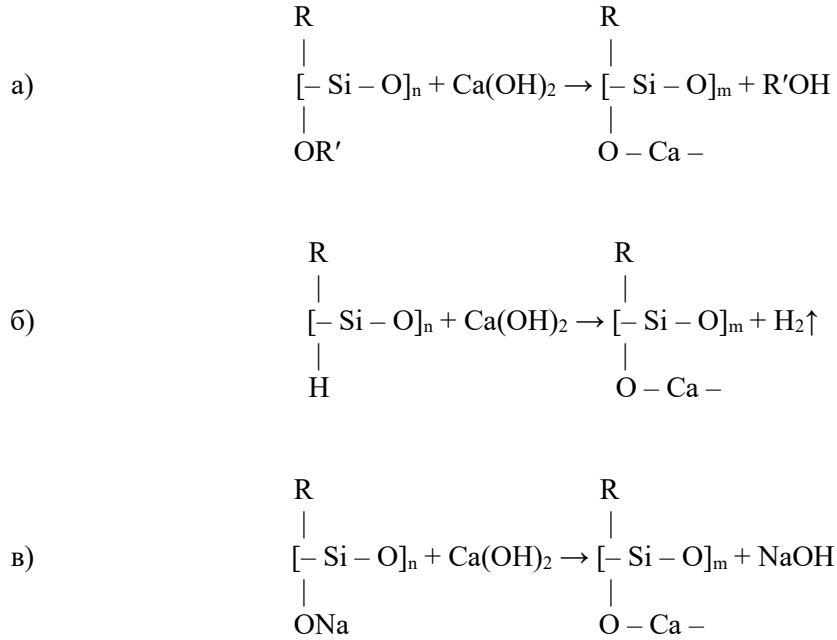


Рис. 2. Химические реакции в цементно-минеральных системах, модифицированных различными кремнийорганическими соединениями: а) полиорганоалкоксисилоксанами, б) полигидросилоксанами, в) полиалкилсиликонатами натрия (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Chemical reactions in cement-mineral systems modified with various organosilicon compounds: a) polyorganoalkoxysiloxanes, b) polyhydrosiloxanes, c) sodium polyalkylsiliconate (illustration by the authors)

Прочность связи полисилоксановых пленок с поверхностью материала зависит от функциональности мономеров. Пленки на основе трифункциональных мономеров $RSiX_3$ имеют большую вероятность их химической связи с поверхностью [20]. Трифункциональные мономеры при гидролизе и последующей конденсации образуют разветвленные (сетчатые) пространственные полимеры, в которых силоксановые цепи могут связываться как между собой, так и с поверхностью материала за счет входящих в ее состав гидроокисей и окисей металлов. Образование многослойной трехмерной пленки, надежно обволакивающей все микрочастицы стройматериала, после соприкосновения с гидрофобизирующим раствором, препятствует гидролизу связей Si-O-M, обеспечивающих химическое сцепление гидрофобного покрытия с поверхностью. Благодаря этому трехмерные полимерные пленки оказываются весьма устойчивыми в эксплуатации [19].

В дорожно-климатических зонах с сезонными и суточными изменениями температур, частыми переходами через 0 °С появляется проблема обеспечения требуемого уровня прочности и морозостойкости цементогрунтовых слоев дорожных одежд, одним из решений которой является применение модификаторов на основе кремнийорганических соединений. Из проведенного анализа теоретических и экспериментальных работ известно применение отдельных кремнийорганических модификаторов для повышения некоторых технологических и эксплуатационных свойств цементогрунтов. Однако, системные исследования по влиянию строения и объема

алифатического радикала в кремнийорганических соединениях на эффективность модификации дорожных цементогрунтов не проводились.

В связи с изложенным, целью работы является анализ и экспериментальные исследования эффективности влияния кремнийорганических соединений, отличающих объемом алифатического радикала, на физико-механические характеристики дорожных цементогрунтов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование влияния метил- и пропилсиликонатов калия на предел прочности при сжатии и предел прочности на растяжение при изгибе модифицированных цементогрунтов;
- исследование влияния кремнийорганических соединений на уровни показатели морозостойкости модифицированных цементогрунтов;
- определение оптимального содержания метил- и пропилсиликонатов калия в цементогрунтах при различном количестве портландцемента;
- установить эффективность повышения качества и долговечности цементогрунтов, модифицированных кремнийорганическими соединениями с разным объемом алифатических радикалов.

2. Материалы и методы

Для проведения исследований использовали пробы глинистого грунта Сахаровского месторождения Алексеевского района Республики Татарстан. Число пластичности грунта определяли как разность влажности грунта на границе текучести (31,04 %) и влажности грунта на границе раскатывания (18,14 %), что соответствовало значению – 0,129. Содержание песчаных частиц (2,00-0,05 мм) в грунте по массе составляло 7,14 %. В соответствии с ГОСТ 25100 испытуемый глинистый грунт относится к суглинку тяжелому пылеватому.

В качестве вяжущего использовался портландцемент (ПЦ) марки ЦЕМ I 42,5Н ЗАО «Вольскцемент», который вводили в количестве 6 %, 10 % и 14 % от массы грунта.

Применяли кремнийорганические соединения: метилсиликонат калия и олигомерный концентрат пропилсиликоната калия.

Содержание воды в модифицированных цементогрунтовых смесях рассчитывалось из условия достижения оптимальной влажности, при которой обеспечивается максимальная плотность смеси.

Определение предела прочности на сжатие ($R_{сж}$) и предела прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$) цементогрунтов производили после водонасыщения образцов в течении 2 суток. Возраст образцов на момент проведения испытаний составлял 28 суток. Коэффициент морозостойкости ($К_{мор}$) определяли как отношение прочности цементогрунтов после 15 циклов замораживания-оттаивания к прочности водонасыщенных образцов после 28-суточного твердения в нормальных условиях. Испытания физико-механических свойств цементогрунтов проводили по ГОСТ 23558.

3. Результаты и обсуждение

При введении метилсиликоната калия в цементогрунты в количестве от 0,25 до 1,25 % и содержании ПЦ 6 %, 10 % и 14 % от массы грунта повысились следующие физико-механические показатели: предел прочности на сжатие на 45 %, 39 % и 33 % (рис. 3 а); предел прочности на растяжение при изгибе на 40 %, 37 % и 30 % (рис. 4 а); коэффициент морозостойкости на 64 %, 68 % и 71 % (рис. 5 а), соответственно. При модификации пропилсиликонатом калия в количестве от 0,20 до 1,00 % и содержании ПЦ 6 %, 10 % и 14 % от массы грунта повысились следующие физико-механические показатели: предел прочности на сжатие на 40 %, 36 %, 31 % (рис. 3 б); предел прочности на растяжение при изгибе на 37 %, 33 % и 28 % (рис. 4 б); коэффициент морозостойкости на 76 %, 83 %, 88 % (рис. 5 б), соответственно. Аналогичные результаты получены авторами [15] в части прочности и морозостойкости.

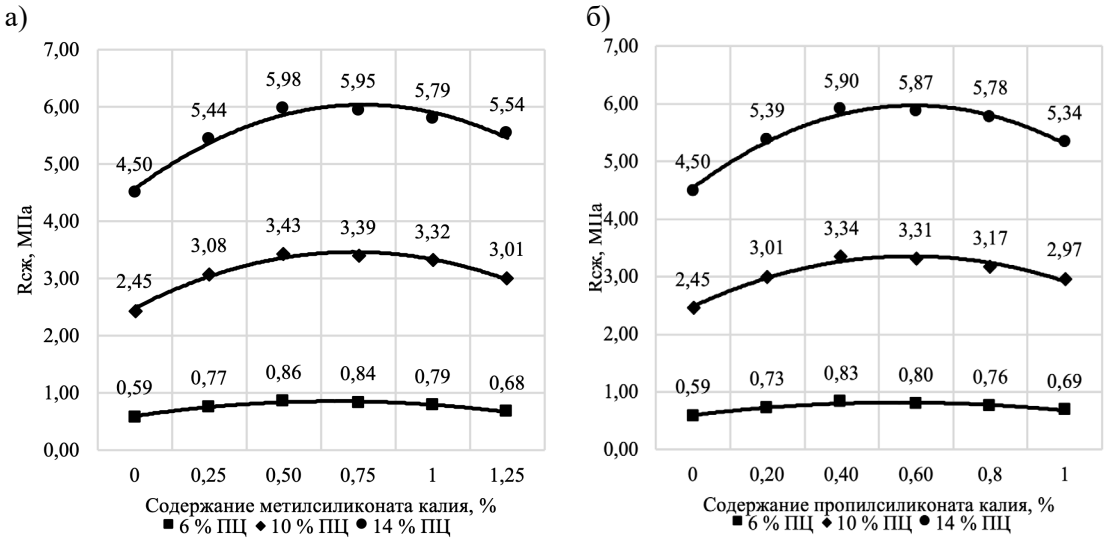


Рис. 3. Зависимость влияния кремнийорганических соединений на предел прочности при сжатии модифицированных цементогрунтов (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Dependence of the influence of organosilicon compounds on the compressive strength of modified soil-cement (illustration by the authors)

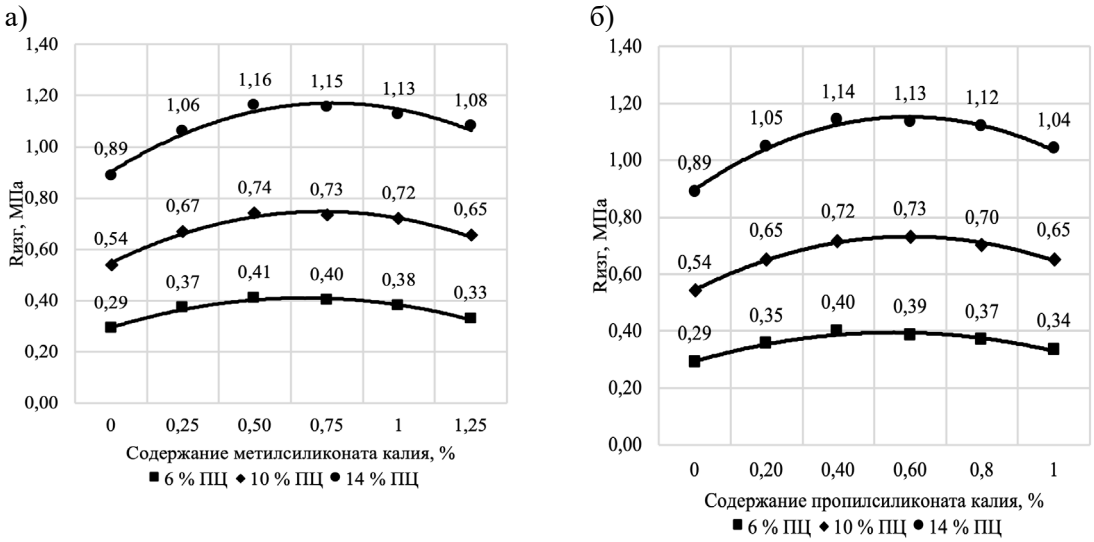


Рис. 4. Зависимость влияния кремнийорганических соединений на предел прочности на растяжение при изгибе модифицированных цементогрунтов (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Dependence of the influence of organosilicon compounds on the tensile strength in bending of modified soil-cement (illustration by the authors)

Модификация цементогрунтов кремнийорганическими соединениями показали положительные результаты в повышении физико-механических свойств. Определено оптимальное содержание метил- и пропилсиликонатов калия в цементогрунтах при различном количестве ПЦ в укрепленных материалах: 0,5 % и 0,4 %, соответственно. Выявлено, что с увеличение объема радикала кремнийорганического модификатора возможно снижение его оптимального содержания в дорожных цементогрунтах при повышении характеристик материалов дорожных одежд. Подтверждением данной закономерности являются результаты по определению оптимального содержание метил- и пропилсиликоната калия (на 20 %) в цементогрунтах при различных количествах портландцемента. В литературных источниках отсутствуют системные данные по

содержанию модификаторов. Авторами [17, 18] рассматривались кремнийорганические соединения, их оптимальные содержания, однако подтверждения возможности снижения в исследованиях не отмечалось.

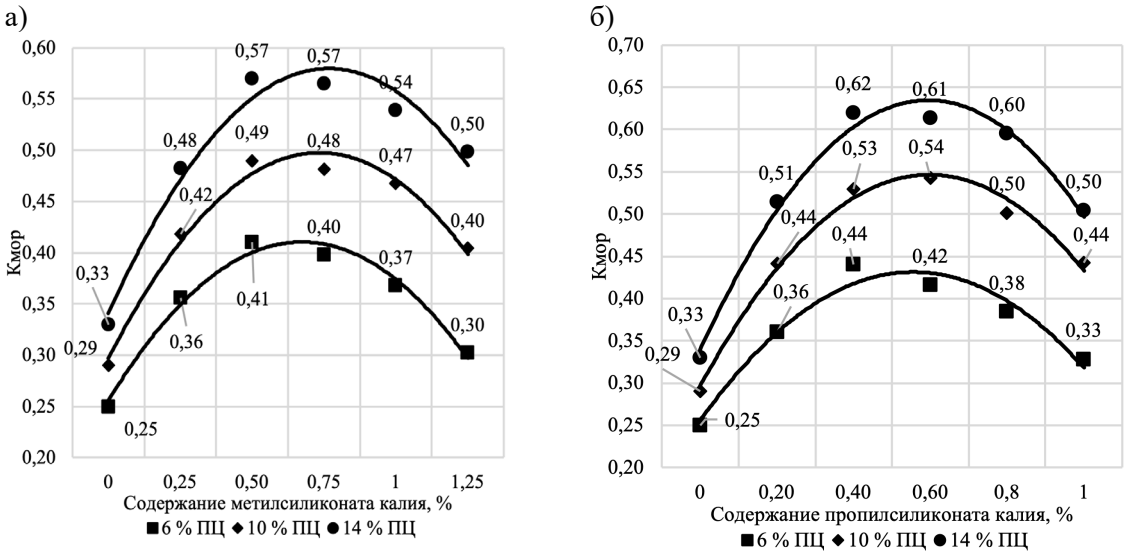


Рис. 5 – Зависимость влияния кремнийорганических соединений на коэффициент морозостойкости модифицированных цементогрунтов (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Dependence of the influence of organosilicon compounds on the freeze-thaw resistance coefficient of modified soil-cement (illustration by the authors)

Установлено, что наиболее эффективным в повышении морозостойкости цементогрунтов является пропилсиликонат калия, что обусловлено строением и объемом радикала. В данном случае, увеличение радикала до C_3H_7 (пропил) обеспечило увеличение уровня морозостойкости в отличие от метилсиликоната калия с радикалом CH_3 (метил).

4. Заключение

- Установлено увеличение эффективности повышения уровней морозостойкости дорожных цементогрунтов при применении кремнийорганических модификаторов: метил- и пропилсиликонатов калия, что обусловлено увеличением объема углеводородного радикала.

- Выявлено, что модификация цементогрунтов исследованными кремнийорганическими соединениями обеспечивает повышение предела прочности на сжатие в пределах от 30 до 45 %, предела прочности на растяжение при изгибе от 28 до 40 %, коэффициента морозостойкости от 64 до 88 % по сравнению с немодифицированными составами.

- Показано, что при равных уровнях прочностных показателей модифицированных цементогрунтов, влияние пропилсиликоната калия способствует более значительному повышению уровня морозостойкости - на 10-20 %.

- Выявлено, что с увеличение объема радикала кремнийорганического модификатора возможно снижение оптимального содержания модификатора в дорожных цементогрунтах при повышении характеристик материалов дорожных одежд. Применение пропилсиликоната калия обеспечивает снижение его оптимального содержания в дорожных цементогрунтах с различным количеством портландцемента на 20 % по сравнению с метилсиликонатом калия.

Список литературы/References

1. Abbey S.J., Eyo U.E., Okeke C.A.U., Ngambi S. Experimental study on the use of RoadCem blended with by-product cementitious materials for stabilisation of clay soils.

Construction and Building Materials. 2021. No. 280. P. 122476. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122476.
2. Jiang N.-J., Du Y.J., Liu K. Durability of Lightweight Alkali-Activated Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) Stabilized Clayey Soils Subjected to Sulfate Attack. Applied Clay Science. 2018. No. 161. P. 70-75. doi: 10.1016/j.clay.2018.04.014.
3. Vdovin E.A., Bulanov P.E., Mavliev L.F. Physical and mechanical characteristics of soil stabilized with quicklime for road bed. Construction of Unique Buildings and Structure. 2022. No. 105. P. 10503. doi: 10.4123/CUBS.105.3.
4. Yao X., Junfeng G., Guan W. Effects of soil grading and sand content on soil-cement properties. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. No. 304. P. 052038. doi: 10.1088/1755-1315/304/5/052038.
5. Vo B.H., Dinh H.L., Dang N.L. Materials Characteristics of Soil-cement Samples under Various Maintenance Conditions. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2023. 1289. P. 012063 doi:10.1088/1757-899X/1289/1/012063.
6. Ezreig A.M.A., Ismail M.A.M., Ehwailat K.I.A. Hydrophobic Effect of Soil Stabilization for a Sustainable Subgrade Soil Improvement. Materials. 2022. No. 15. P. 3087. doi: 10.3390/ma15093087.
7. Cai Y., Xu L., Liu W., Shang Y., Su N., Feng D. Field test study on the dynamic response of the cement-improved expansive soil subgrade of a heavy-haul railway. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2020. No. 128. P. 105878. doi: 10.1016/j.soildyn.2019.105878.
8. Низамов, Р К Обоснование эффективности наполнения ПВХ-композиций тонкодисперсными отходами металлургических производств / Низамов Р К, Галеев Р Р , Абдрахманова Л А , Хозин В Г, Наумкина Н И , Лыгина Т.З //Строит материалы - 2005 - №7. - С 18-19.[Nizamov, R K Substantiation of the effectiveness of PVC compositions filling with finely dispersed waste from metallurgical industries / Nizamov R K, Galeev R R, Abdrakhmanova L A , Khozin V G, Naumkina N I, Lygina T.Z //Builds materials - 2005 - No. 7. - P. 18-19.]
9. Węgliński S. Capillary water absorption in mixtures of cohesive soils stabilized with cement and hydrophobic agent. Budownictwo i Architektura. 2021. No. 20(2). P. 15-28. doi: 10.35784/bud-arch.2422.
10. Vdovin E., Bulanov P., Stroganov V., Mavliev L. Physical and Mechanical Characteristics of Modified Soil Cement with Polycarboxylate Superplasticizers. Proceedings of STCCE. 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. No. 291. P. 125-133. doi: 10.1007/978-3-031-14623-7_10.
11. Al-Kheetan M.J., Rahman M.M., Chamberlain D.A. Moisture evaluation of concrete pavement treated with hydrophobic surface impregnants. International Journal of Pavement Engineering. 2020. Vol. 21. No. 14. P. 1746-1754. doi: 10.1080/ 10298436.2019.1567917.
12. Roshan K., Choobbasti A., Soleimani K., Fakhrabadi A. The effect of adding polypropylene fibers on the freeze-thaw cycle durability of lignosulfonate stabilised clayey sand. Cold Regions Science and Technology. 2021. No. 193(3). P. 103418. doi: 10.1016/j.coldregions.2021.103418.
13. Galeev, R., Nizamov, R., Abdrakhmanova, L., Khozin, V.: Resource-saving polymer compositions for construction purposes. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2020). DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012111.
14. Asgari M., Sundararaj U. Silane functionalization of sodium montmorillonite nanoclay: The effect of dispersing media on intercalation and chemical grafting. Applied Clay Science. 2018. No. 153. P. 228-238. doi: 10.1016/j.clay.2017.12.020.
15. She W., Yang J., Hong J., Sun D., Mu S., Miao C. Superhydrophobic concrete with enhanced mechanical robustness: Nanohybrid composites, strengthen mechanism and durability evaluation. Construction and Building Materials. 2020. No. 247(12). P. 118563. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118563.
16. Huang C.H., Fang H.Y., Zhang J.Z. The properties of hydrophobic concrete prepared by biomimetic mineralization method. Computers and Concrete. 2019. No. 23(5). P. 351-359. doi: 10.12989/cac.2019.23.5.351.

17. Mundo R.D., Labianca C., Carbone G., Notarnicola M. Recent advances in hydrophobic and icephobic surface treatments of concrete. Coatings. 2020. No. 10(5). P. 449. doi: 10.3390/COATINGS10050449.
18. Bao J., Hu W., Zhang P., Li Z., Lei F., Zhao T. (2020). Effect of Organic Silicon Hydrophobic Agent on Strength and Capillary Absorption of Concrete. Kuei Suan Jen Hsueh Pao/Journal of the Chinese Ceramic Society. 2020. No. 48(10). P. 1644-1652. doi: 10.14062/j.issn.0454-5648.20200283.
19. Батраков, В.Г. О взаимосвязи адсорбционных характеристик полиорганосилоксанов и технических свойств бетонной смеси и бетонов / В.Г. Батраков, О.П. Гень, Ф.М. Иванов // Коллоидный журнал. – 1979. – № 5 – С. 842-848. [Batrakov, V.G. On the relationship of adsorption characteristics of polyorganosiloxanes and technical properties of concrete mixture and concretes / V.G. Batrakov, O.P. Gen, F.M. Ivanov // Colloidal Journal. – 1979. – No. 5 – pp. 842-848.]
20. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд., перераб. и доп. / В.Г. Батраков. – М.: Высшая школа, 1998. – 768 с.). [Batrakov, V.G. Modified concrete. Theory and practice. 2nd ed., reprint. and additional / V.G. Batrakov. – M.: Higher School, 1998. – 768 p.]

Информация об авторах

Вдовин Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: vdovin007@mail.ru
Буланов Павел Ефимович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: pavel.bulanov1991@yandex.ru
Строганов Виктор Федорович, доктор химических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: svf08@mail.ru

Information about the authors

Evgeniy A. Vdovin, candidate of Engineering Sciences, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: vdovin007@mail.ru
Pavel E. Bulanov, candidate of Engineering Sciences, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: pavel.bulanov1991@yandex.ru
Viktor F. Stroganov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: svf08@mail.ru

УДК: 625.7
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_310
EDN: LZSJPZ

Организация дорожного движения вблизи образовательных учреждений

Ю.Р. Кареева[1], Р.В. Николаева[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи*. Дети являются самыми уязвимыми участниками дорожного движения, которые подвергаются повышенному риску получения травм в результате дорожно-транспортных происшествий из-за одновременного воздействия множества факторов риска. Дорожная обстановка вблизи образовательных учреждений является довольно сложной для восприятия детьми. Целью данного исследования является определение уровня безопасности дорожного движения вблизи образовательных учреждений. Основные задачи исследования: определение проблемных участков в области безопасности дорожного движения и обследование инженерного обеспечения улично-дорожной сети вблизи образовательных учреждений.
Результаты. Для определения уровня безопасности дорожного движения вблизи образовательных учреждений были определены основные критерии, по которым проводилась оценка. Методом натурного обследования проведена оценка организации дорожного движения вблизи 27 образовательных учреждений г. Казани, г. Набережных Челнах и г. Болгары.
Выводы. Огромное значение, в области обеспечения безопасности дорожного движения вблизи образовательных учреждений, имеет дорожная инфраструктура и организация дорожного движения. Оценка организации дорожного движения вблизи 27 образовательных учреждений показала, что в целом сегодня складывается положительная тенденция в области обеспечения безопасности дорожного движения. Сбор и анализ данных о безопасности дорожного движения и ключевых показателях эффективности дорожной сети вокруг образовательных учреждений является важным шагом для поддержки и повышения эффективности принятия решений по безопасности дорожного движения и экономически эффективных мероприятий.

Ключевые слова: образовательные учреждения, улично-дорожная сеть, пешеходный переход, организация дорожного движения, безопасность

Для цитирования: Кареева Ю.Р., Николаева Р.В. Организация дорожного движения вблизи образовательных учреждений // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.310-317, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_310, EDN: LZSJPZ

Organization of traffic near educational institutions

Yu.R. Kareeva[1], R.V. Nikolaeva[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement*. Children are the most vulnerable road users who are at increased risk of injury as a result of road accidents due to the simultaneous impact of multiple risk factors. The road situation near educational institutions is quite difficult for children to perceive. The purpose of this study is to determine the level of road safety near educational institutions. The main objectives of the study are to identify problem areas in the field of road safety and to survey the engineering support of the road network near educational institutions.

Results. To determine the level of road safety in the vicinity of educational institutions, we pointed out the main criteria by which the assessment was carried out. The assessment of the organization of traffic near 27 educational institutions of Kazan, Naberezhnye Chelny and Bolgary was carried out by the method of a full-scale survey.
Conclusions. Road infrastructure and traffic management are of great importance in the field of road safety near educational institutions. An assessment of the organization of traffic near 27 educational institutions showed that, in general, there is a positive trend in the field of road safety today. Collecting and analyzing data on road safety and key performance indicators of the road network around educational institutions is an important step to support and improve the effectiveness of road safety decision-making and cost-effective measures.

Keywords: educational institutions, road network, pedestrian crossing, traffic management, safety

For citation: Kareeva Yu.R., Nikolaeva R.V. Organization of traffic near educational institutions // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.310-317, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_310, EDN: LZSJPZ

1. Введение

Управление дорожным движением и безопасностью дорожного движения вблизи образовательных учреждений является важной составляющей в обеспечении дорожной безопасности детей. Проблемы безопасности, возникающие вблизи образовательных учреждений, могут быть вызваны участниками дорожного движения (например, превышение скорости, неправильное поведение при парковке, рискованное поведение на перекрестках) или проблемами в дорожной обстановке (например, плохая видимость, отсутствие дорожной разметки и т.д.) [1]. Обеспечение максимальной безопасности зависит как от состояния дорожной инфраструктуры, так и от поведения людей, которые ею пользуются.

Дорожная обстановка вокруг образовательных учреждений является одной из самых сложных, с которыми регулярно сталкиваются дети. Дети не всегда обладают необходимыми навыками для работы в такой среде, что приводит к повышенному риску возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Исследования показывают, что для детей, существует множество факторов риска, которые в совокупности приводят к аварийным ситуациям на дорогах, при этом стоит учитывать, что риск носит как физический, так и поведенческий характер [2, 3].

Дети наблюдают за дорожной обстановкой не так как это делают взрослые, так маленький рост ребенка затрудняет им наблюдение за встречным движением [4, 5]. Водителям также труднее обнаружить детей, и в непосредственной близости они могут быть невидимы (ниже высоты транспортного средства), особенно когда стоят между припаркованными транспортными средствами [6].

Помимо физических недостатков, основные причины высокой вовлеченности детей в дорожно-транспортные происшествия связаны с поведенческими и когнитивными факторами [7]. Детям трудно точно оценить скорость транспортного средства, и нередко, переходя дорогу, дети могут пропустить медленное транспортное средство, но при этом перейти дорогу перед быстро едущим автомобилем [8].

Довольно частое явление, когда дети переходят дорогу одновременно с транспортными средствами и не пользуются пешеходными переходами [9, 10]. Дети часто могут проявлять неожиданное поведение при использовании обустройства дорожной сети, не задумываясь о последствиях своих действий. Кроме того, они склонны сосредотачиваться только на том, что их больше всего интересует, и легко отвлекаются. Наконец, дети часто сосредотачиваются на том, что, по их мнению, является самым быстрым путем достижения пункта назначения, даже если этот маршрут может быть довольно опасным.

Дети подвергаются риску на дорогах, т.к. их поведение может быть менее предсказуемым, чем у взрослых, и они могут допускать ошибки в суждениях, когда имеют дело с дорожным движением [11]. В частности, у детей младшего возраста (как

правило, дети до 10 лет) недостаточно хорошо развито периферическое зрение. Их когнитивные и перцептивные способности в сочетании с их активным поведением, способствуют к повышению риска на дорогах, особенно в часы повышенной загруженности при больших интенсивностях движения.

Однако вблизи образовательных учреждений существуют и более очевидные проблемы, к ним можно отнести не обустроенность пешеходных переходов, отсутствие предупреждающих знаков и т.д. Решить данные проблемы возможно путем применения инженерных стратегий, которые позволяют выявить опасности и предложить пути решения [12]. Следует отметить, что осуществление вмешательства в дорожную инфраструктуру с целью решения одной проблемы должно осуществляться с осторожностью, чтобы не создать другой недостаток. Таким образом, следует придерживаться целостного подхода.

Общая ответственность за безопасность дорожного движения означает, что решения проблем безопасности дорожного движения разнообразны, и иногда наилучшие результаты дает комбинация подходов или решений. Проблемы в организации дорожного движения вблизи образовательных учреждений можно выявлять в ходе инспекций на местах, проведении проверок безопасности дорожного движения, или статистического анализа данных о дорожно-транспортных происшествиях.

Целью данного исследования является определение уровня безопасности дорожного движения вблизи образовательных учреждений. Основные задачи исследования: определение параметров вызывающих озабоченность в области безопасности дорожного движения и обследование инженерного обеспечения улично-дорожной сети вблизи образовательных учреждений.

2. Материалы и методы

На уровень безопасности дорожного движения вблизи образовательных учреждений влияет то, как проектируется, строится и эксплуатируется улично-дорожная сеть [13, 14].

Обеспечение безопасности улично-дорожной сети зависит от множества факторов [15, 16]. Особые требования предъявляются к организации дорожного движения вблизи общеобразовательных учреждений [17, 18]. Анализ типовых схем организации дорожного движения вблизи образовательных учреждений, позволил выявить ключевые факторы по обеспечению безопасности дорожного движения. На рис. 1 представлена одна из типовых схем организации дорожного движения на нерегулируемом пешеходном переходе вблизи образовательного учреждения.

Ключевые факторы по обеспечению безопасности дорожного движения вблизи образовательных учреждений:

– скорость движения должна быть низкой – необходимо соблюдать ограничение скорости в 40 км/ч;

– места размещения пешеходных переходов должны быть расположены в безопасном месте и четко обозначены;

– вблизи образовательных учреждений должны быть предусмотрены пешеходные дорожки для учащихся, которые идут пешком или едут на велосипеде, либо движутся с автобусных остановок, либо из мест, где их забирают или высаживают;

– должны быть предусмотрены места для остановки транспортных средств, позволяющие безопасно высаживать и забирать детей;

– образовательным учреждениям также требуется достаточное количество парковочных мест на территории для персонала, родителей и посетителей;

– следует надлежащим образом регулировать уровень загруженности вокруг школ, организовать дорожное движение необходимо таким образом, чтобы транспортные средства двигались в направление, позволяющее высаживать и забирать детей со стороны, где находится образовательное учреждение;

– видимость дорожной обстановки должна быть достаточной для всех участников дорожного движения, чтобы учащиеся и транспортные средства могли четко видеть друг друга на въездах, перекрестках и пешеходных переходах.

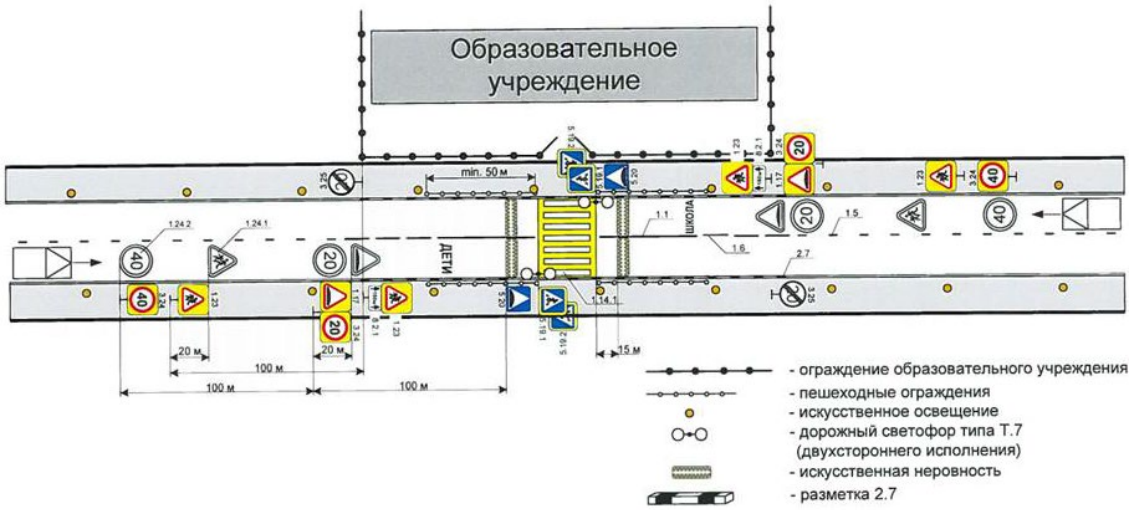


Рис. 1. Типовая схема организации дорожного движения на нерегулируемом пешеходном переходе вблизи образовательного учреждения[1]

Fig. 1. Typical traffic management scheme at an unregulated pedestrian crossing near an educational institution

Оценка уровня безопасности дорожного движения вблизи образовательных учреждений проводить при помощи натурного исследования. Решение проблем организации дорожного движения вблизи образовательных необходимо проводить в следующей последовательности:

На первом этапе определяются образовательные учреждения, вблизи которых необходимо определить уровень безопасности дорожного движения.

На втором этапе определяются показатели, по которым проводиться оценка уровень безопасности дорожного движения вблизи образовательные учреждения.

3. Результаты и обсуждение

С целью проверки по выполнению требований безопасности дорожного движения на участках улично-дорожной сети, вблизи образовательных учреждений, были проведены натурные обследования прилегающих территорий к городским школам.

В рамках данного исследования было проверено 27 образовательных учреждений:

− 17 образовательных учреждений в г. Казани: школы № 12, № 18, № 39, № 43, № 54, № 71, № 85, № 98, № 115, № 119, № 132, № 170; русско-татарская школа №13; Лицей № 26; Гимназии № 3, №33, №96;

− 5 образовательных учреждений в г. Набережные Челны: школа № 12, № 20, № 78; Гимназии № 2, № 15;

− 5 образовательных учреждений в г. Болгары: школы №1, №2; Болгарская кадетская школа-интернат им. Карпова П.А.; Болгарская школа-интернат; Болгарская санаторная школа-интернат.

Оценка безопасности дорожного движения проводилась в соответствии с Методическими рекомендациями, по обследованию улично-дорожной сети вблизи образовательных учреждений. Исследования в области безопасности дорожного движения также показывают, что в первую очередь необходимо обратить внимание участников дорожного движения к дорожной обстановке с использованием технических средств организации дорожного движения [19, 20].

Для определения уровня безопасности дорожного движения вблизи образовательных учреждений были разработаны специальные бланки, где были

[1] ОДМ 218.6.025–2017 Методические рекомендации по выбору эффективных некапиталоемких мероприятий по снижению аварийности в местах концентрации дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах общего пользования

отражены: планировочное расположение образовательного учреждения, а также показатели оценки уровня безопасности дорожного движения.

Основные критерии, по которым определялся уровень безопасности:

1. скоростной режим;
2. стационарного наружного освещения;
3. тротуары, пешеходные ограждения или сплошная посадка кустарника;
4. дорожные знаки: 5.19.1 и 5.19.2«Пешеходный переход», 1.23 «Дети»;
5. дорожная разметка: 1.14.1 и 1.14.2 «Пешеходный переход», 1.24.1 - для дублирования предупреждающих знаков (1.17 «Искусственная неровность», 1.23 «Дети») и 1.24.2 - для дублирования запрещающих знаков (3.24 «Ограничение максимальной скорости»);
6. искусственные неровности;
7. светофорные объекты.

Пример натурного обследования Гимназии № 33 (г. Казань) приведен на рис. 2. Ограничение скоростного режима предусмотрено 40 км/ч, что подтверждается наличием дорожных знаков 3.24. «Ограничение максимальной скорости». Пешеходный переход вблизи Гимназии № 33 оборудован дорожной разметкой 1.14.1, дорожными знаками 5.19.1 и 5.19.2. В соответствии с тем, что скоростной режим в районе пешеходного перехода 40 км/ч, перед и после пешеходного перехода предусмотрены монолитные искусственные неровности, обозначенные дорожной разметкой 1.25 «Искусственная неровность» и предупреждающими знаками 5.20 «Искусственная неровность». Вокруг Гимназии № 33 предусмотрены тротуары, которые отделяются от проезжей части пешеходными ограждениями. Также близи Гимназии № 33 предусмотрено парковочное пространство для транспортных средств, которое обозначается дорожным знаком 6.4 «Парковка» с табличкой 8.6.5, также имеется размета парковочных мест.

Рис. 2. Пешеходный переход ул. Симонова (Гимназии № 33, г. Казань)
Fig. 2. Pedestrian crossing of Simonov St. (Gymnasium No. 33, Kazan)

После проведения натурного обследования, были тщательно обработаны все бланки, результаты оценки организации дорожного движения вблизи образовательных учреждений в сжатом виде представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследования схем организации дорожного движения вблизи образовательных учреждений

№ п/п	Средства организации дорожного движения	Результат исследования
1	Ограничение скорости	Вблизи пешеходных переход у образовательных учреждений установлены знаки ограничения скорости - 40 км/ч.
2	Стационарное наружное освещение	Вблизи образовательных учреждений имеется стационарное наружное освещение
3	Пешеходные ограждения или сплошная посадка кустарника	Образовательные учреждения отделены от проезжей части пешеходными ограждениями или сплошной посадкой кустарника. Ограничивающие пешеходные ограждения применяют в Болгарской школе-интернат.

Продолжение таблицы 1

4	Дорожные знаки	Пешеходные переходы вблизи образовательных учреждений обозначены знаками 5.19.1 и 5.19.2 на щитах желто-зеленого цвета. Знак 1.23 на щитах желто-зеленого цвета установлен на переходах, к примеру, у школ № 43, № 115 и Лицея № 170 г. Казани.
5	Дорожная разметка	Пешеходные переходы вблизи образовательных учреждений оборудованы дорожной разметкой 1.14.1. У некоторых школ встречается дублирование запрещающих знаков 3.24 «Ограничение максимальной скорости» (к примеру - школа № 98 г. Казани).
6	Искусственная неровность	В случаях, когда пешеходный переход расположен на перегоне перед пешеходными переходами имеются монолитные искусственные неровности из асфальтобетона. Асфальтобетонная, искусственная неровность совмещенная с пешеходным переходом применяется редко.
7	Светофоры	Если переход к образовательным учреждениям расположен на регулируемом перекрестке, то для пешеходов установлены светофоры П1 и П2 (к примеру Гимназия № 3 и № 96 г. Казани). У пешеходного перехода рядом со школой № 71 и № 85 (г. Казань), №20 (г. Набережные Челны) установлен светофор Т.7.

Исследование организации дорожного движения вблизи 27 образовательных учреждений показало, что безопасность дорожного движения обеспечена.

4. Заключение

1. Огромное значение, в области обеспечения безопасности дорожного движения вблизи образовательных учреждений, имеет дорожная инфраструктура и организация дорожного движения.

2. Оценка организации дорожного движения вблизи 27 образовательных учреждений в г. Казани, г. Набережных Челнах и г. Болгары показала, что в целом сегодня складывается положительная тенденция в области обеспечения безопасности дорожного движения.

3. Сбор и анализ данных о безопасности дорожного движения и ключевых показателях эффективности дорожной сети вокруг образовательных учреждений является важным шагом для поддержки и повышения эффективности принятия решений по безопасности дорожного движения и экономически эффективных мероприятий.

Список литературы/ References

1. Kapitanov V., Monina O., Silyanov V., Chubukov A. Probabilistic assessment of main factors determining the road traffic accident rate in regions of Russia: dig. of art. Transportation research Procedia – XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities – Institute for Road Safety SPbGASU, 2020. P. 218-225. DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.027.
2. Rosen E. & Sander U. Pedestrian Fatality Risk as a Function of Car Impact Speed // Accident Analysis and Prevention. 2009. Vol. 41(3). P. 536-542. https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.02.002.
3. Капитанов В.Т., Сильянов В.В., Чубуков А.Б., Монина О.Ю. Моделирование региональной дорожно-транспортной аварийности на основе пятилетних статистических данных // Наука и техника в дорожной отрасли. 2021. № 4(98). С.

11-16 [Kapitanov V.T., Silyanov V.V., Chubukov A.B., Monina O.Yu. Modeling of regional road traffic accidents on the basis of five-year statistical data // Science and technology in the road industry. 2021. Vol. 4(98). P. 11-16].

4. Trifunovic A., Pesic D., Cicevic S., & Antic B. The importance of spatial orientation and knowledge of traffic signs for children's traffic safety // Accident Analysis & Prevention. 2017. 102. P. 81-92.
5. Храмцова О.В. Профилактика детского дорожно-транспортного травматизма в области дорожного движения // Безопасность дорожного движения. 2022. № 4. С. 16-18. [Khramtsova O.V. Prevention of children's road traffic injuries in the field of traffic // Road safety. 2022. Vol. 4. P. 16-18].
6. Ivarsson B.J., Crandall J.R., & Okamoto M. Influence of age-related stature on the frequency of body region injury and overall injury severity in child pedestrian casualties // Traffic injury prevention. 2006. Vol. 7(3). P. 290-298.
7. Riaz M.S., Cuenen A., Janssens D., Brijs K., & Wets G. Evaluation of a gamified e-learning platform to improve traffic safety among elementary school pupils in Belgium // Personal and Ubiquitous Computing. 2019. 23(5). P. 931-941.
8. Schieber R.A., & Thompson N.J. Developmental risk factors for childhood pedestrian injuries // Injury Prevention, 1996. Vol. 2(3). P. 228.
9. Зиннуров Т.А., Гончарова Н.Н. Формирование безопасной среды для пешеходов на примере транспортно-пересадочного узла в г. Казани // Вестник НЦБЖД. 2022. № 4(54). С. 86-95 [Zinnurov T.A., Goncharova N.N. Formation of a safe environment for pedestrians on the example of a transport interchange hub in Kazan // Bulletin of the National Railways. 2022. Vol. 4(54). P. 86-95].
10. Yannis G., Nikolaou D., Laiou A., Stürmer Y.A., Buttler I., & Jankowska-Karpa D. Vulnerable road users: cross-cultural perspectives on performance and attitudes // IATSS research. 2020. Vol. 44(3). P. 220-229.
11. Гатиятуллин М.Х., Кучерова А.А. Совершенствование организации движения на нерегулируемых пешеходных переходах // Вестник НЦБЖД. 2021. № 1(47). С. 84-91 [Gatiyatullin M.H., Kucherova A.A. Improving the organization of traffic at unregulated pedestrian crossings // Bulletin of the National Railways. 2021. Vol. 1(47). P. 84-91].
12. Хайруллин Р.Р., Габдуллин Т.Р. К вопросу улучшения качества нанесения дорожной разметки из термопластика : сб. ст. Международной научно-технической конференции. Под общей редакцией Ш.М. Мерданова – Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Тюмень, 2021. С. 257-260 [Khairullin R.R., Gabdullin T.R. On the issue of improving the quality of road markings made of thermoplastic : dig. of art. International Scientific and Technical Conference. Under the general editorship of Sh.M. Merdanov – Ground transport and technological complexes and facilities. Tyumen, 2021. P. 257-260].
13. Ходоскин Д.П. Оптимизация выбора способа оборудования пешеходных переходов // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2019. № 1(38). С. 30-33 [Khodoskin D.P. Optimization of the choice of the method of equipment of pedestrian crossings // Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport. 2019. Vol. 1(38). P. 30-33].
14. Макарова И.В., Буйвол П.А., Якупова Г.А., Абашев А.М. Анализ рисков при внедрении системы управления безопасностью дорожного движения // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2022. № 5. С. 51-59. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-05-10 [14. Makarova I.V., Buyvol P.A., Yakupova G.A., Abashev A.M. Risk analysis in the implementation of a road safety management system // Transport: science, technology, management. Scientific information collection. 2022. Vol. 5. P. 51-59. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-05-10].
15. Кущенко Л.Е., Новиков И.А., Днистренко Н.С. Обеспечение транспортной безопасности на улично-дорожной сети // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса. Донецк, 2019. С. 160–163 [Kushchenko L.E., Novikov I.A., Nesterenko N.S. Ensuring transport security on the

road network // Scientific and technical aspects of innovative development of the transport complex. Donetsk, 2019. P. 160-163].
16. Porter R.J., Dunn M., Soika J., Huang I., Coley D., Gross A., Kumfer W., & Heiny S. A Safe System-Based Framework and Analytical Methodology for Assessing Intersections // Editorial Patterns in Bicyclist and Pedestrian Crash Reporting. Transportation Research Record. 2021. Vol. 2673(2). P. 663-671. https://doi.org/10.1177/0361198119825637.
17. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Изюмский А.А., Коцурба С.В. Элементы дорожной инфраструктуры и влияние их на безопасность дорожного движения // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12, № 2. С. 49-68. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-49-68 [Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Izyumsky A.A., Kotsurba S.V. Elements of road infrastructure and their impact on road safety // International Journal of Advanced Studies. 2022. Vol. 12, No. 2. P. 49-68. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-49-68].
18. Галюзин А.И., Шевцова А.Г., Боровской А.Е., Высоцкий В.А. Организация пешеходного движения в России и зарубежом // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2020. № 3 (42). С. 133-138 [Galuzin A.I., Shevtsova A.G., Borovskoi A.E., Vysotsky V.A. Organization of pedestrian traffic in Russia and abroad // Technical regulation in transport construction. 2020. Vol. 3 (42). P. 133-138].
19. Парсаев Е.В., Тетерина И.А. Информационное обеспечение водителей путем применения технических средств организации дорожного движения : сб. ст. IV Национальной научно-практической конференции – Образование. Транспорт. Инновации. Строительство / Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Омск, 2021. С. 369-373 [Parsaev E.V., Teterina I.A. Information support for drivers through the use of technical means of traffic management : collection of Articles IV of the National Scientific and Practical Conference – Education. Transport. Innovation. Construction / Siberian State Automobile and Road University (SibADI). Omsk, 2021. P. 369-373].
20. Самородов А.С., Мелькумова Т.В., Аникин Н.В., Карпов Е.С. Исследование пешеходных переходов // Воронежский научно-технический Вестник. 2020. Т. 2. № 2(32). С. 120-127 [Samorodov A.S., Melkumova T.V., Anikin N.V., Karpov E.S. The study of pedestrian crossings // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. 2020. Vol. 2. No. 2(32). P. 120-127].

Информация об авторах

Кареева Юлия Рустэмовна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
E-mail: kareeva@kgasu.ru
Николаева Регина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
E-mail: nikolaeva@bk.ru

Information about the authors

Yulia R. Kareeva, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.
E-mail: kareeva@kgasu.ru
Regina V. Nikolaeva, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.
E-mail: nikolaeva@bk.ru

УДК: 625.71
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_318
EDN: MPJTQR

Влияние положения пешеходного перехода на главной дороге на пропускную способность нерегулируемого примыкания

Т.К. Комарова[1]
[1]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Российская федерация

Аннотация: Целью настоящего исследования является определение пропускной способности полос движения на нерегулируемом примыкании в одном уровне с пешеходным движением при различных положениях пешеходного перехода на главной дороге. Задачами исследования являются применение разработанной математической модели движения транспортных и пешеходных потоков на нерегулируемом примыкании в одном уровне в соответствии с предложенной иерархией; разработка расчетных схем движения автомобилей и пешеходов; определение пропускной способности полос движения второстепенной дороги. В статье приведены результаты исследования влияния положения пешеходного перехода на главной дороге на пропускную способность правоповоротного направления второстепенной дороги. Исследование выполнено методом математического моделирования движения автомобилей и пешеходов на нерегулируемом примыкании согласно разработанным схемам. Математическая модель учитывает приоритет движения на нерегулируемом примыкании и представляет собой комплексную систему стохастически-детерминированных уравнений. Предложенная модель и результаты исследования могут быть использованы для определения пропускной способности при проектировании, реконструкции и капитальном ремонте нерегулируемых примыканий в одном уровне с пешеходным движением, а также при выборе местоположения пешеходного перехода на главной дороге.

Ключевые слова: нерегулируемое примыкание, нерегулируемый пешеходный переход, пропускная способность, интенсивность движения, интенсивность пешеходов, математическое моделирование

Для цитирования: Комарова Т.К. Влияние положения пешеходного перехода на главной дороге на пропускную способность нерегулируемого примыкания // Известия КГАСУ, 2023, № 4 (66), с. 318-327, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_318, EDN: MPJTQR

The influence of the position of a pedestrian crossing on the main road on the capacity of an unsignalized junction

T.K. Komarova[1]
[1]Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation

Abstract: The purpose of this study is to determine the capacity of traffic lanes at an unsignalized junction at the same level with pedestrian traffic at different positions of the pedestrian crossing on the main road. The objectives of the study are the application of the developed mathematical model of traffic and pedestrian flows at an unsignalized junction at the same level in accordance with the proposed hierarchy; the development of computational schemes for the movement of cars and pedestrians; the determination of the capacity of the lanes of the secondary road. The article presents the results of the study of the influence of the

pedestrian crossing position on the main road on the capacity of the right-turning direction of a secondary road. The study was carried out by the method of mathematical modeling of the movement of cars and pedestrians at an unsignalized junction according to the developed schemes. The mathematical model takes into account the priority of movement at an unsignalized junction and it is a complex system of stochastic-deterministic equations. The proposed model and the results of the study can be used to determine the capacity during the design, reconstruction and overhaul of unsignalized junctions at the same level with pedestrian traffic, as well as when choosing the location of a pedestrian crossing on the main road.

Keywords: capacity, unsignalized junction, unsignalized pedestrian crossing, capacity, traffic intensity, pedestrian intensity, mathematical model

For citation: Komarova T.K. The influence of the position of a pedestrian crossing on the main road on the capacity of an unsignalized junction// News KSUAE, 2023, № 4 (66), p. 318-327, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_318, EDN: MPJTQR

1. Введение

Нерегулируемые примыкания являются одним из часто устраиваемых планировочных элементов улично-дорожной сети [1, 2]. В городских условиях нерегулируемые примыкания должны быть оборудованы пешеходными переходами для пропуска пешеходов через проезжую часть и обеспечения связанности транспортных и пешеходных маршрутов населения города [3, 4].

При проектировании элементов улично-дорожной сети необходимо знать и обосновано определять их пропускную способность. Существующие отечественные и зарубежные методики определяют пропускную способность нерегулируемых примыканий, как максимальное количество автомобилей второстепенной дороги, которые могут влиться в транспортный поток главной дороги, по которой автомобили движутся с заданными интервалами [5, 6, 7]. При этом среди интервалов между транспортными средствами двигающимися по главной дороге существует граничный интервал, который водители, двигающиеся по второстепенной дороги, могут принять для выполнения маневра [8, 9, 10].

В зарубежной практике особое внимание уделено обеспечению комфорта, безопасности всех участников дорожного движения, в том числе пешеходов и велосипедистов [11, 12, 13]. Совокупный учет всех пользователей улично-дорожной сети отвечает современному принципу мультимодальной оценки качества движения [14, 15, 16].

Автором проведены натурные и математические исследования пропускной способности нерегулируемых примыканий, оборудованных пешеходным переходом. В том числе проведено сравнение результатов исследования пропускной способности правоповоротной полосы движения второстепенной дороги при при $N_{пеш} = 0$ чел./час с данными отечественных и зарубежных авторов и сравнение результатов математического моделирования и натурных наблюдений на городском нерегулируемом примыкании [17], оборудованном пешеходным переходом, что доказало достоверность предложенной математической модели при уровне надежности 95%.

Результаты математического моделирования расчетной схемы при отсутствии пешеходного перехода на главной дороге показали снижение пропускной способности правоповоротной полосы движения второстепенной дороги в два раза при интенсивности пешеходного движения 400 чел./час [1].

Выбор положения пешеходного перехода на главной дороге при проектировании, реконструкции и капитальном ремонте нерегулируемых примыканий является актуальной проблемой и должен быть исследован.

[1] Комарова Т.К. Математическое моделирование движения автомобилей и пешеходов на нерегулируемых примыканиях // Известия КГАСУ. – 2023. - № 3(65). - С.163-174. - doi: 10.52409/20731523_2023_3_163, EDN: LSIEXN.

Целью настоящего исследования является определение пропускной способности полос движения на нерегулируемом примыкании в одном уровне с пешеходным движением при различных положениях пешеходного перехода на главной дороге.

Задачами исследования являются применение разработанной математической модели движения транспортных и пешеходных потоков на нерегулируемом примыкании в одном уровне в соответствии с предложенной иерархией; разработка расчетных схем движения автомобилей и пешеходов; определение пропускной способности полос движения второстепенной дороги в зависимости от положения пешеходного перехода.

2. Материалы и методы

В качестве математической модели выбрана комплексная дискретная система стохастическо-детерминированных уравнений, которые следует комбинировать и последовательно применять в зависимости от исходных данных и планировочных условий согласно приоритету проезда примыкания.

Математические основы моделирования и распределения случайных величин приняты по вероятностно-статистическому справочнику Г.И. Ивченко и Ю.И. Медведева «Дискретные вероятностные модели: Все важнейшие дискретные модели теории вероятностей, математической статистики и комбинаторного анализа и методы их применения в теории и практике» [18].

Пропускную способность полосы движения, оборудованную пешеходным переходом $P_{ПП}$, определим по формуле:

$$P_{ПП} = \frac{3600}{\delta t_{пп}} e^{-\frac{N_{пеш} t_{пеш.треб.}}{3600}}, \quad (1)$$

где $\delta t_{пп}$ – интервал между передними бамперами автомобилей при разъезде из очереди при пересечении пешеходного перехода, сек.;

$t_{пеш.треб.}$ - минимальное время, которое требуется группе пешеходов для пересечения проезжей части, сек;

$N_{пеш}$ - интенсивность пешеходов или количество случаев перехода проезжей части группой пешеходов, чел./час.

В случае распределения интервалов следования между автомобилями в транспортном потоке согласно распределению Пуассона и применении стохастической модели движения транспортных потоков общее выражение для определения пропускной способности имеет вид:

$$P = M \frac{e^{-\frac{M}{3600}\delta t_{гр}}}{1 - e^{-\frac{M}{3600}\delta t}}, \quad (2)$$

где P – пропускная способность нерегулируемого примыкания, авт./час;

M – интенсивность движения главного направления, авт./час;

$\delta t_{гр}$ – граничный интервал, принимаемый водителями второстепенного направления, сек;

δt – интервал между передними бамперами автомобилей при разъезде из очереди второстепенного направления, сек.

При пересечении транспортных потоков нескольких направлений движения, необходимо учитывать их иерархию по приоритету движения.

В случае появления пешеходов на проезжей части, также следует учесть преимущество их движения перед автотранспортными средствами.

Автором предложена иерархия транспортных и пешеходных потоков различных направлений, выраженная следующими классами $i(i = 1 \ldots 4)$ с порядковыми номерами

транспортных потоков $j\left(j = T1 \ldots T6\right)$ и порядковыми номерами пешеходных потоков $k\left(k = П1 \ldots П3\right)$:

- Класс 1. Водители обладают преимуществом проезда примыкания и могут беспрепятственно осуществлять движение в случае отсутствия пешеходных переходов. К ним относят главные направления движения прямо Т1, Т4 и направо Т2. При наличии пешеходных переходов водители уступают пешеходным потокам П1-П3.
- Класс 2. При отсутствии пешеходных переходов водители уступают направлениям движения Т1 и Т2. К ним относят главные левоповоротные направления движения Т3 и второстепенные правоповоротные направления движения Т6. При наличии пешеходных переходов водители уступают также пешеходным потокам П1-П3.
- Класс 3. При отсутствии пешеходных переходов водители уступают направлениям движения Т1, Т3, Т4. К нему относят второстепенные левоповоротные направления движения Т5. При наличии пешеходных переходов водители также уступают пешеходным потокам П1-П3.
- Класс 4. Пешеходы беспрепятственно движутся по нерегулируемому переходу принятыми группами пешеходных потоков П1-П3.

Общая схема нерегулируемого примыкания представлена на рис. 1.

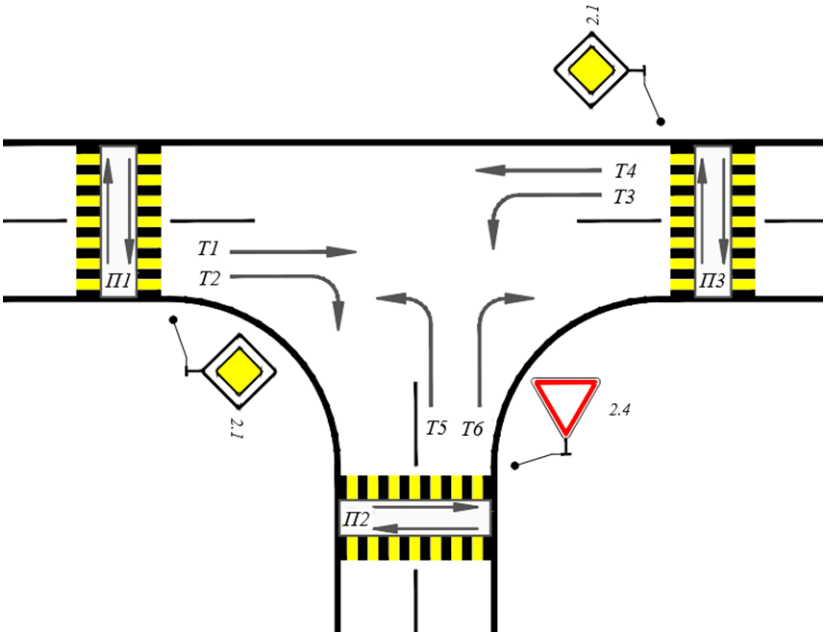


Рис. 1. Схема нерегулируемого примыкания с указанием направлений движения (иллюстрация автора)
Fig. 1. The scheme of unsignalized junction with indicating the directions of movement (illustration by the author)

Математическая модель определения пропускной способности нерегулируемого примыкания с учетом иерархии типов транспортных потоков соответствует условиям беспрепятственного проезда примыкания автомобилями и беспрепятственного движения пешеходов.

Пропускную способность примыкания определим по формуле:

$$P = p_i P_i = \prod_{1}^{j,k} p_j p_{j,k} \sum_{1}^{j,k} P_{j,k} \qquad (3)$$

где $i\left(i = 1 \ldots 4\right)$ - порядковый номер класса;

$j\left(j = T1 \ldots T6\right)$ - порядковый номер направления движения транспортных потоков;

$k\left(k = П1 \ldots П3\right)$ - порядковый номер сечения, в котором движется пешеходный поток;

p_i - вероятность беспрепятственного движения потока *i*-ого класса;

P_i - пропускная способность потока *i*-ого класса;

p_j - вероятность беспрепятственного движения j-ого направления движения транспортного потока, при отсутствии пешеходного движения;

$p_{j,k}$ - вероятность беспрепятственного движения j-ого направления движения транспортного потока, при наличии пешеходного движения в сечении k;

$P_{j,k}$ - пропускная способность полосы движения j-ого направления с учетом пешеходного движения в сечении k.

3. Результаты и обсуждение

Математическое моделирование совместного движения автомобилей и пешеходов проведено для разработанных расчетных схем однополосного нерегулируемого примыкания в одном уровне с различными вариантами положения пешеходных переходов.

В статье рассмотрены различные варианты расположения пешеходного перехода на главной дороге:

- Вариант 1. Пешеходный переход на главной дороге расположен перед примыканием второстепенной дороги ближе к сечению 1-1.
- Вариант 2. Пешеходный переход на главной дороге расположен после примыкания второстепенной дороги ближе к сечению 3-3.

Расчетные схемы приведены на рис. 2 и 3.

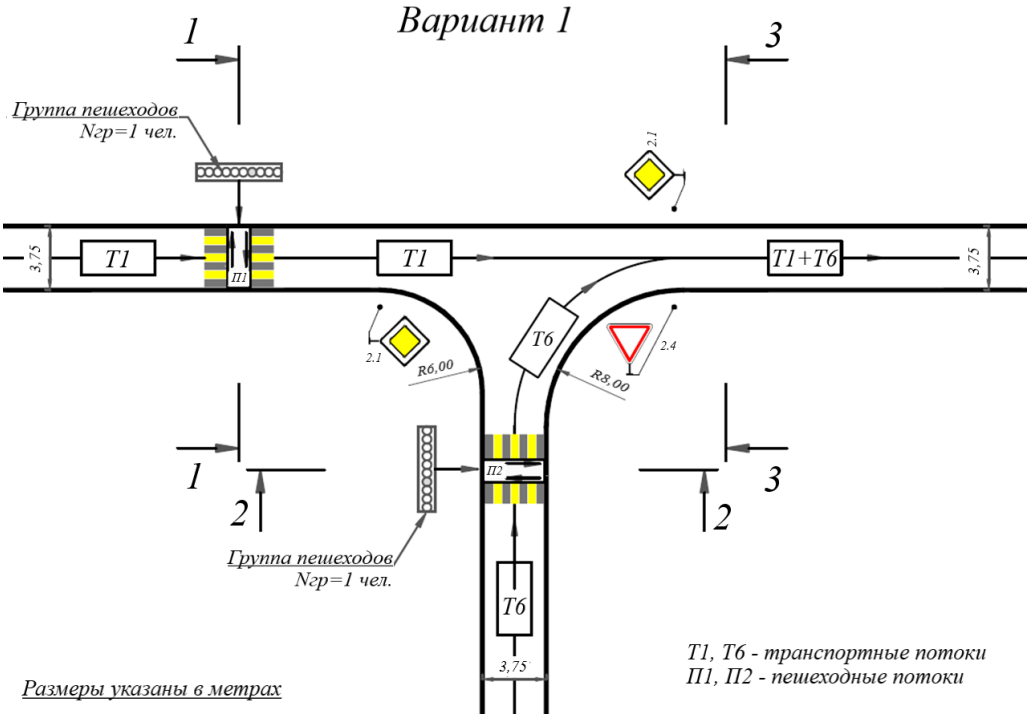


Рис. 2. Расчетная схема варианта 1 математической модели (иллюстрация автора)
Fig. 2. Design scheme of the option 1 of mathematical model (illustration by the author)

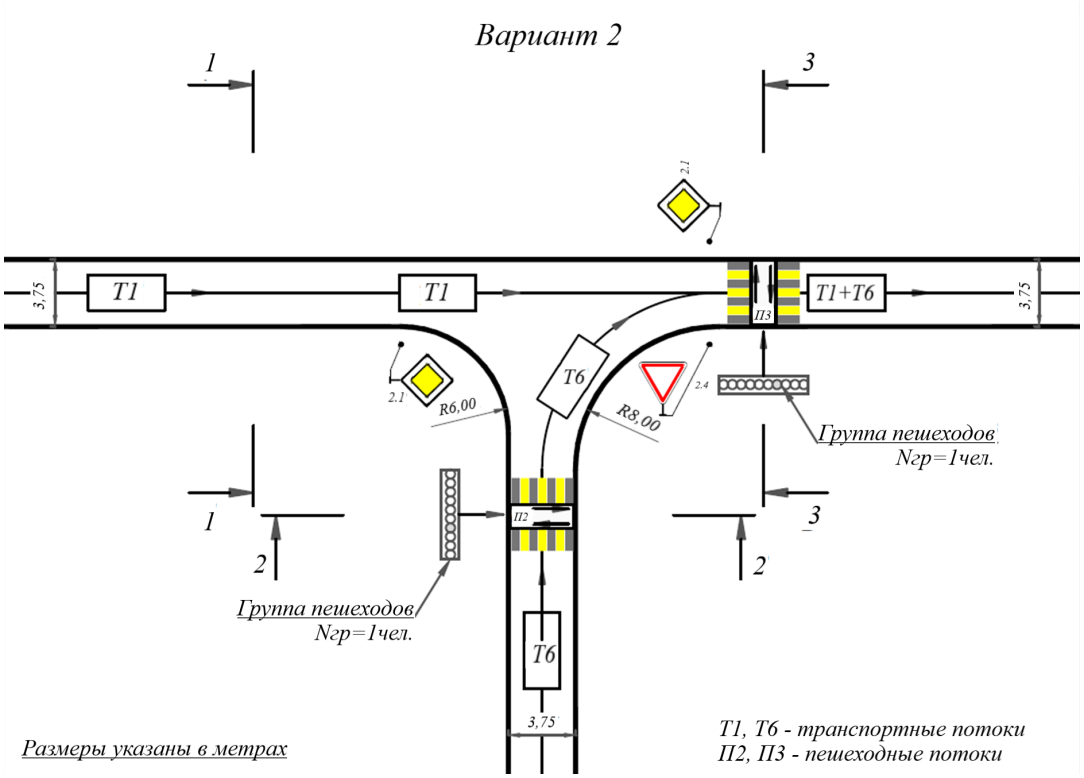


Рис. 3. Расчетная схема варианта 2 математической модели (иллюстрация автора)
Fig. 3. Design scheme of the option 2 of mathematical model (illustration by the author)

Второстепенное направление движения во всех рассмотренных случаях оборудовано нерегулируемым пешеходным переходом шириной 5,0 м. Длина пешеходного перехода принята в зависимости от ширины проезжей части.

Ширина полосы движения главного и второстепенного направлений принята 3,75 м. Радиус примыкания принят 8,0 м. Граничный интервал, необходимый для поворота направо второстепенного направления принят $\delta t_{гл}^{право} = 6,4$ сек. Интервал следования второстепенного направления при разъезде из очереди при повороте направо принят $\delta t_{вт}^{право} = 3,5$ сек.

Транспортный поток Т1 поступает из сечения 1-1 в сечение 3-3 с переменной интенсивностью N_1 от 0 до 2000 авт./час.

При отсутствии пешеходных переходов в сечениях 1-1 и 3-3 на главной дороге пропускная способность полосы движения транспортного потока Т1 определена как максимальная заданная интенсивность движения N_1.

При наличии пешеходных переходов в сечениях 1-1 и/или 3-3 на главной дороге для остальных схем пропускная способность полосы движения транспортного потока Т1 определена при интенсивности пешеходного потока П1 для варианта 1 или П3 для варианта 2 от 1 до 1500 чел./час в соответствии с вышеуказанной методикой.

Транспортный поток Т6 поступает из сечения 2-2 в сечение 3-3 с переменной интенсивностью N_6 от 0 до максимальной [авт./час] в зависимости от интенсивности N_1 транспортного потока Т1 и интенсивности пешеходных потоков П2 для обоих вариантов и пешеходного потока П3 для варианта 2 в сечениях 2-2 и 3-3.

Если принять, что интенсивность пешеходного движения в сечениях 2-2 и 3-3 равна 0 чел./час , то интенсивность движения N_6 транспортного потока Т6 имеет максимально возможное значение в зависимости от интенсивности N_1= 0-2000 авт./час транспортного потока Т1 согласно расчету по предложенной модели.

Максимально возможная интенсивность движения транспортного потока Т6 будет равна его пропускной способности P_6 и равняется пропускной способности примыкания

P в зависимости от интенсивности движения главного направления и интенсивности пешеходов.

Результаты математического моделирования пропускной способности полосы движения транспортного потока Т1 приведены на рис. 4.

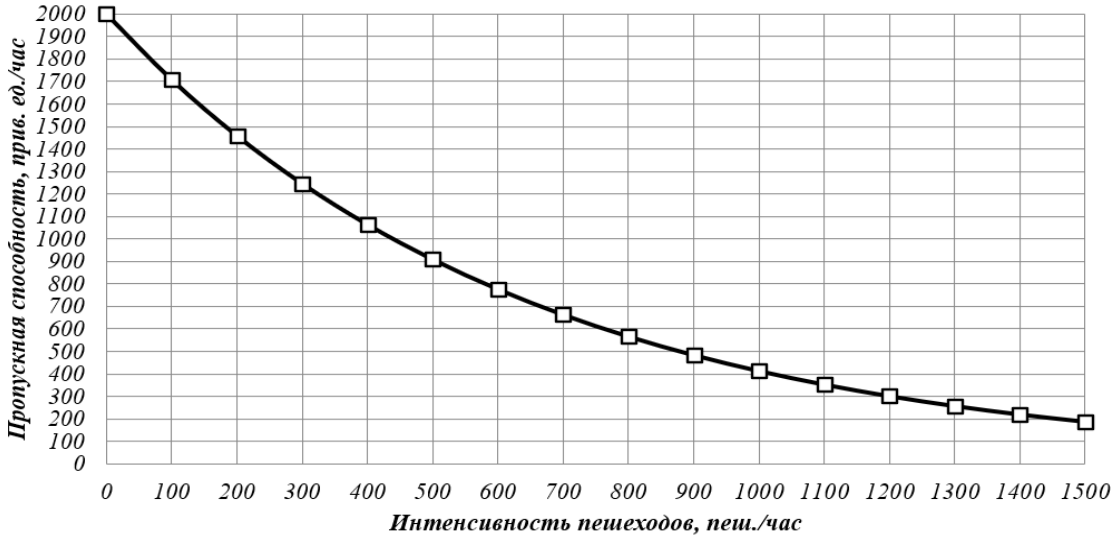


Рис. 4. Зависимость пропускной способности главной дороги от интенсивности пешеходного потока в створе 1-1 (иллюстрация автора)
Fig. 4. Dependence of the capacity of the main road on the intensity of pedestrian traffic in the alignment 1-1 (illustration by the author)

Результаты математического моделирования пропускной способности полосы движения второстепенной дороги (транспортный поток Т6) приведены на рис. 5 и 6. Характерные группы изолиний графиков представлены в диапазонах интенсивности транспортного потока Т1, движущегося по главной дороге $N_1 = 400 – 900$ авт./час.

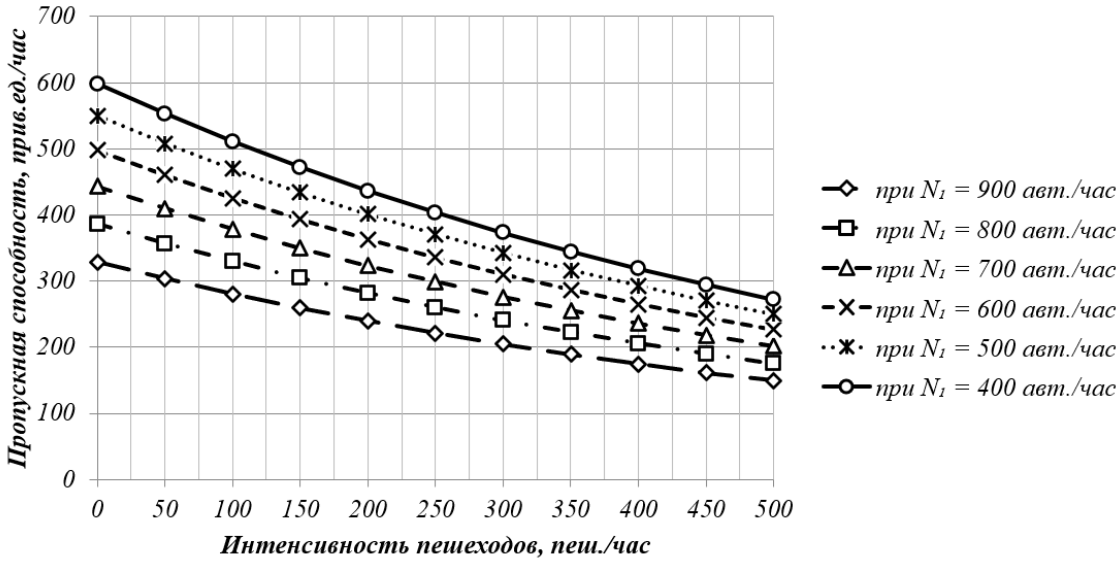


Рис. 5. Вариант 1. Зависимость пропускной способности второстепенной дороги (транспортный поток Т6) от интенсивности пешеходного потока в створе 1-1и 2-2 (иллюстрация автора)
Fig. 5. Option 1. Dependence of the capacity of a secondary road (traffic flow T6) on the intensity of pedestrian traffic in the alignment 1-1 and 2-2 (illustration by the author)

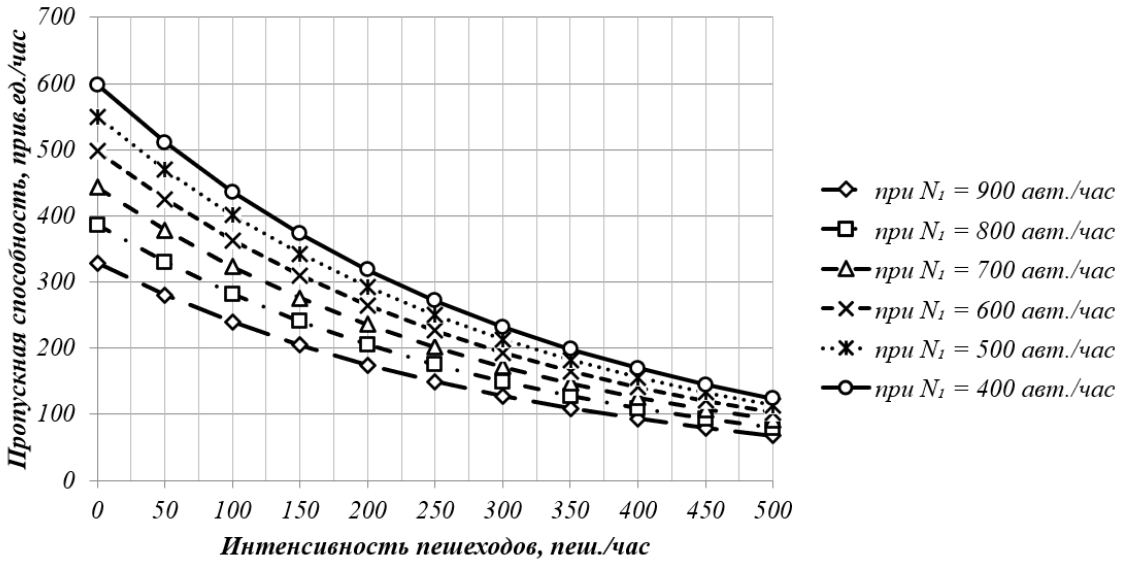


Рис. 6. Вариант 2. Зависимость пропускной способности второстепенной дороги (транспортный поток Т6) от интенсивности пешеходного потока в створе 2-2 и 3-3 (иллюстрация автора).
Fig. 6. Option 2. Dependence of the capacity of a secondary road (traffic flow T6) on the intensity of pedestrian traffic in the alignment 2-2 and 3-3 (illustration by the author).

Сравнительный анализ результатов математического моделирования пропускной способности правоповоротной полосы движения второстепенной дороги в зависимости от положения пешеходного перехода на главной дороге и интенсивности пешеходного движения приведен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ результатов математического моделирования

Интенсивность пешеходов Nпеш, чел./час	Интенсивность транспортного потока Т1 (N_1), авт./час						Снижение пропускной способности полосы движения второстепенной дороги (транспортный потока Т6), %
	Вариант 1			Вариант 2			
	400	600	800	400	600	800	
	Пропускная способность полосы движения второстепенной дороги (транспортного потока Т6) прив.ед./час						
0	505	443	328	550	443	328	0,0
100	470	379	281	401	323	240	14,6
200	401	323	240	293	236	175	27,1
400	293	236	175	156	125	93	46,8

Результаты исследования показали, что пропускная способность правоповоротной полосы движения второстепенной дороги зависит от положения пешеходного перехода на главной дороге и интенсивности пешеходного движения.

Расположение пешеходного перехода на однополосных примыканиях непосредственно перед примыканием при отсутствии поворота направо с главной дороги повышает пропускную способность примыкания.

4. Заключение

В результате проведенного исследования сформулированы следующие выводы:

1. Предложена математическая модель определения пропускной способности нерегулируемых примыканий с учетом приоритета совместного движения транспортных и пешеходных потоков.
2. Разработаны расчетные схемы нерегулируемого примыкания с различным положением пешеходного перехода на главной дороге.
3. Пропускная способность полосы движения главной дороги (при отсутствии смешанных полос движения) снижается при увеличении интенсивности пешеходного движения и не зависит от положения пешеходного перехода на главной дороге.
4. Пропускная способность полосы движения правоповоротного направления второстепенной дороги зависит от положения пешеходного перехода на главной дороге и может быть увеличена при расположении пешеходного перехода перед примыканием: на 14% при интенсивности пешеходного движения до 100 чел./час; на 27% при интенсивности пешеходного движения до 200 чел/час; на 46% при интенсивности пешеходного движения до 400 чел./час.
5. Предложенная модель и результаты исследования могут быть использованы для определения пропускной способности при проектировании, реконструкции и капитальном ремонте нерегулируемых примыканий.

Список литературы/References

1. Alkhatib, A.A.A. Novel system for road traffic optimisation in large cities / A.A.A. Alkhatib, K.A. Maria, S. Alzu'bi, E.A. Maria // IET Smart Cities. - 4(2). – 2022. - P. 143–155.- doi:10.1049/smc2.12032.
2. Xing, R. A Regional Road Network Capacity Estimation Model for Mountainous Cities Based on Auxiliary Map / R. Xing, W. Fei, C. Xiaoyu, C. Ning, Y. Tao, P. Bo // Sustainability. - 2023. – 15, 11439. – P. 1-27. – doi:10.3390/su151411439.
3. Николаева, Р.В. Исследование наездов на пешеходов на улично-дорожной сети г. Казани / Р.В. Николаева, И.И. Попова // Техника и технология транспорта. - 2022. - № 1 (24). - С. 10. URL: http://transport-kgasu.ru/files/N2410BDD122.pdf. [Nikolaeva, R.V. Investigation of pedestrian collisions on the Kazan street and road network / R.V. Nikolaeva, I.I. Popova // Transport engineering and technology. - 2022. - № 1 (24). - P. 10. URL: http://transport-kgasu.ru/files/N2410BDD122.pdf.]
4. Николаева, Р.В. Оценка поведения пешеходов / Р.В. Николаева, П.Л. Щур // Вестник НЦБЖД. – 2023. – № 2 (56). – С. 119–127. [Nikolaeva, R.V. Assessment of pedestrian behaviour / R.V. Nikolaeva, P.L. Shchur // Vestnik NCBŽD. – 2023. – № 2 (56). – P. 119–127.]
5. Akçelik, R. Searching for a Gap Acceptance Theory Basis for Linear Capacity Models / R. Akçelik // Technical Note. - Akcelik & Associates Pty Ltd. - Melbourne, Australia. - May, 2022.
6. Cordes, J. The Trouble with 2nd Order Models or How to Generate Stop-and-Go Traffic in a 1st Order Model / J.Cordes, A.Schadschneider, A.Tordeux // Traffic and Granular Flow 2019. Springer Proceedings in Physics. - 2020. – vol. 252.
7. Goyani, J. Crossing conflict models for urban un-signalized T-intersections in India / G. Jaydip, G. Ninad, A. Shriniwas // Transportation letters. The International Journal of Transportation Research. – August, 2023. – P. 1-9. – doi:10.1080/19427867.2023.2250161.
8. Gracanin, D. Simulation modelling of pedestrians influence on the roundabout capacity / D. Gracanin, N. Ruskic, T. Pavlica, M. Maric, L.D.Ciric // International Journal of Simulation Modelling. – 2023. – 22, 3. – P. 474-484. - doi: 10.2507/IJSIMM22-3-656.
9. Luther, P.J. The unsignaled intersection performance analysis of Arterial access road at Karawang barat 1 toll gate, West Java / P.J. Luther, I.R. Andri, T. Mohamad // Indonesian Journal of Multidisciplinary Science. – 2023. - 1(1). – P. 451-459. - doi:10.55324/ijoms.v1i1.402.

10. Wu, N. Some New Developments in Two-Way-Stop-Controlled Intersections Procedures and Recommendations for a Future Version of the Highway Capacity Manual / N.Wu, W.Brilon // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. - April, 2021.
11. Lopes, A.S. Mobility as a service and socio-territorial inequalities: A systematic literature review / A.S. Lopes, M. Orozco-Fontalvo, F. Moura, D. Vale // Journal of Transport and Land Use. – 2023. – Vol. 16. - N. 1. – P. 215-240. – doi:10.5198/jtlu.2023.2273.
12. Hensher, D.A. Mobility as a service and private car use: Evidence from the Sydney MaaS trial / D.A.Hensher, C.Q. Ho, D.J. Reck // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2020/ - Vol. 145. – P. 17-33. – doi:10.1016/j.tra.2020.12.015.
13. Hensher, D. Mobility as a service and private car use: Evidence from the Sydney MaaS trial / D.Hensher, C.Ho, D.Reck // Transportation Research Part A: Policy and Practice. - March, 2021. - vol. 145. - P.17-33.
14. Msaas, B. Literature Review of Mobility as a Service. Sustainability / B.Msaas // MDPI. - July, 2022. - 14, 8962.
15. Wong, Y. Emerging transport technologies and the modal efficiency framework: a case for mobility as a service (MaaS) / Y.Wong, D.A. Hensher, C.M. Mulley // Special issue of Transportation Research Part A on MaaS and Intelligent Mobility Guest Edited by David Hensher and Corinne Mulley. – 2020. - vol. 131. - P. 5-19.
16. Liu, L. Modelling Pedestrian Social Group Passing Strategy with Expression-Matrix and Social Force / L.Liu, Y.Zhao, X.Zou // Traffic and Granular Flow 2019. – 2020. - vol 252.
17. Komarova, T.K. Improving the Digital Modeling Quality of Unsignalized Intersections Equipped with a Pedestrian Crossing / T.K. Komarova // 2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). - 2022. - P. 1-4. - doi: 10.1109/TIRVED56496.2022.9965532.
18. Ивченко, Г.И. Дискретные вероятностные модели: Все важнейшие дискретные модели теории вероятностей, математической статистики и комбинаторного анализа и методы их применения в теории и практике / Г.И.Ивченко, Ю.И.Медведев. – М.: ЛЕНАНД, 2021. - 620 с. ISBN 978-5-9710-7145-7. [Ivchenko, G.I. Discrete probabilistic models: All the most important discrete models of probability theory, mathematical statistics and combinatorial analysis and methods of their application in theory and practice / G.I.Ivchenko, Yu.I.Medvedev. – M.: LENAND, 2021. - 620 p. ISBN 978-5-9710-7145-7.]

Информация об авторах

Комарова Татьяна Константиновна– аспирант, ассистент кафедры «Изыскания и проектирование дорог», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва, Российская Федерация
E-mail: tatianakkom@gmail.com

Information about the authors

Tatiana K. Komarova – post-graduate student, assistant of the Department of Research and Design of Roads, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation
E-mail: tatianakkom@gmail.com

УДК: 691, 624.138
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_328
EDN: MVPXUQ

Физико-механические характеристики резино-битумных вяжущих

Д.С. Смирнов[1], П.Е. Буланов[1], Л.Р. Утяшева[2]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
[2]ГКУ «Главтатдортранс», г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Постоянное повышение транспортной нагрузки и интенсивности движения приводит к снижению стойкости асфальтобетона к колееобразованию и другим дефектам. Применение резиновой крошки в дорожном строительстве является одним из перспективных методов утилизации отходов и повышения характеристик асфальтобетона.
Цель работы является исследование физико-механических свойств битума, модифицированного резиновой крошкой (резино-битумного вяжущего). Задачи: исследование влияния количества резиновой крошки и времени приготовления на физико-механические свойства резино-битумного вяжущего; определение состава резиновых крошек методом инфракрасной спектроскопии.
Результаты. В зависимости от количества резиновой крошки и времени приготовления изучены следующие физико-механические свойства резино-битумного вяжущего: глубина проникания иглы при 25 °С, температура размягчения по кольцу и шару, дуктильность при 0 °С, температура хрупкости по Фраасу. Определение количества целлюлозы и резиновой крошки проводилось методом инфракрасной спектроскопии.
Выводы. Установлено, что с введением добавок в битум в количестве от 8 до 24 % и времени приготовления от 5 до 15 минут: пенетрация при 25 °С уменьшилась на 14,92 %, 17,19 %, 12,90 %; температура размягчения повысилась на 12,47 %, 23,12 %, 18,23; дуктильность при 0 °С снизилась на 32,43 %, 23,68 %, 37,50 %; температура хрупкости повысилась на 31,25 %, 34,54 %, 35,71 % соответственно.
Установлено, что основным компонентом (не менее 80-90 % по массе) во всех трех образцах резиновой крошки является целлюлоза, о чем свидетельствует интенсивный характеристический пик 945 $см^{-1}$ пиранозных циклов, являющийся основной структурной единицей всех высокоуглеводов и, в частности, целлюлозы.

Ключевые слова: битум, резиновая крошка, резино-битумное вяжущее, ИК-спектроскопия, физико-механические характеристики

Для цитирования: Смирнов Д.С., Буланов П.Е., Утяшева Л.Р. Физико-механические характеристики резино-битумных вяжущих // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 328-336, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_328, EDN: MVPXUQ

Physical and mechanical characteristics of rubber-bitumen binders

D.S. Smirnov[1], P.E. Bulanov[1], L.R. Utyasheva[2]
[1] Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
[2]SPI «Glavtatdortrans», Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. A constant increase in traffic load and traffic intensity leads to a decrease in the resistance of asphalt concrete to rutting and other defects. The use of crumb

rubber in road construction is one of the promising methods for recycling waste and improving the characteristics of asphalt concrete.
The purpose of the work is to study the physical and mechanical properties of bitumen modified with crumb rubber (rubber-bitumen binder). The objectives are to study the influence of the amount of crumb rubber and preparation time on the physical and mechanical properties of rubber-bitumen binder; determine the composition of rubber crumbs using infrared spectroscopy.
Results. Depending on the amount of rubber crumb and preparation time, the following physical and mechanical properties of the rubber-bitumen binder were studied: needle penetration depth at 25 °C, softening temperature along the ring and ball, ductility at 0 °C, Fraas brittleness temperature. Determination of the amount of cellulose and crumb rubber was carried out by infrared spectroscopy.
Conclusions. It has been established that with the introduction of additives into bitumen in the amount of 8 to 24% and preparation time of 5 to 15 minutes: penetration at 25 ° C decreased by 14.92%, 17.19%, 12.90%; the softening temperature increased by 12.47%, 23.12%, 18.23; ductility at 0 °C decreased by 32.43%, 23.68%, 37.50%; the brittleness temperature increased by 31.25%, 34.54%, 35.71% respectively.
It has been established that the main component (at least 80-90% by weight) in all three samples of rubber crumb is cellulose, as evidenced by the intense characteristic peak of 945 cm^{-1} of pyranose cycles, which is the main structural unit of all high-carbohydrates and, in particular, cellulose.

Keywords: bitumen, rubber crumb, rubber-bitumen binder, IR spectroscopy, physical and mechanical characteristics

For citation: Smirnov D.S., Bulanov P.E., Utyasheva L.R. Physical and mechanical characteristics of rubber-bitumen binders // News KSUAE, 2023, № 4(66), с. 328-336, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_328, EDN: MVPXUQ

1. Введение

Асфальтобетонная смесь, состоящая из битумного вяжущего и минеральных заполнителей, является наиболее распространенным дорожно-строительным материалом для строительства покрытий автомобильных дорог [1-3]. Долговечность асфальтобетонного покрытия зависит от реологических свойств битумного вяжущего. Постоянное повышение транспортной нагрузки и интенсивности движения требует улучшения адгезионных и когезионных свойств битума путем его модификации различными полимерными добавками [4, 5].

Использование переработанных материалов в дорожном строительстве является одним из наилучших вариантов методов утилизации отходов и повышения характеристик строительных материалов дорожного назначения. Из переработанных материалов и отходов промышленности в асфальтобетонных смесях в основном применяются: шлаки, золы уноса, дробленый кирпич, пластмасса, каучук, отходы стекла, резинового порошка и т.д. [6, 7].

Среди модифицированных битумных вяжущих особое внимание заслуживают резино-битумные вяжущие, имеющие преимущества как с технической, так и экологической стороны. При производстве резино-битумного вяжущего, частицы резиновой крошки (обычно 15-20 %) смешивают с горячим битумом. Легкие фракции битума поглощаются резиновой крошкой, что приводит к ее набуханию [8]. При воздействии более жестких условий приготовления (высоких температур и продолжительного времени) происходит растворение резиновой крошки в битуме [9].

Увеличение количества изношенных шин является глобальной экологической проблемой [10, 11]. Ежегодно в мире производится около миллиарда шин [12]. Исследования показали, что модификация асфальтобетонных смесей резиновой крошкой для покрытий автомобильных дорог имеет ряд преимуществ: уменьшение толщины слоя; повышение срока службы и высокотемпературных характеристик асфальтобетона;

снижение уровня шума до 70 %; снижение затрат на техническое обслуживание; улучшение экологических проблем и т.д. [13, 14].

Производство битума, модифицированного резиновой крошкой, имеет два метода приготовления [15]. Первый метод – это «сухая технология», при котором модификатор из резиновой крошки используется для замены 1-3 % массы заполнителя в асфальтобетонной смеси. В сухом процессе резиновая крошка и асфальтобетонная смесь практически не взаимодействуют во время смешивания в асфальтосмесительной установке, поэтому данный метод не является предпочтительным. Второй метод – это «мокрая технология», которая была разработана Макдональдом в конце 1960-х годах. В этом методе к битуму или асфальтобетонной смеси добавляют резиновую крошку при начальной температуре 160 ºС и в процессе смешения доводят температуру до 180-190 ºС [10].

Целью работы является исследование физико-механических свойств битума, модифицированного резиновой крошкой (резино-битумного вяжущего).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование влияния количества резиновой крошки и времени приготовления на физико-механические свойства резино-битумного вяжущего;

- определение состава резиновых крошек методом ИК-спектроскопии.

2 Материалы и методы

В качестве вяжущего применен битум, соответствующий марке БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014 производства АО «ТАИФ-НК».

Результаты испытаний битума в соответствии с ГОСТ 33133-2014 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-технические свойства битума марки БНД 70/100

№ п/п	Наименование показателя	Един. изм	Фактические значения	Требования ГОСТ 33133-2014	Методы испытаний ГОСТ
1	2	3	4	5	6
1	Глубина проникания иглы, при 25 °С, 0,1 мм	мм	74	71-100	ГОСТ 33136
2	Температура размягчения по кольцу и шару, КиШ	°С	48	не ниже 47	ГОСТ 33142
3	Растяжимость, при 0 °С	см	3,8	не менее 3,7	ГОСТ 33138
4	Изменение температуры размягчения после прогрева	°С	6,2	Не более 7,0	ГОСТ 33140 ГОСТ 33142
5	Температура хрупкости	°С	-19	Не выше -18	ГОСТ 33143
6	Температура вспышки ºС, не ниже	ºС	230	230	ГОСТ 33141
7	Изменения массы образца после старения, %, не более	%	0,07	0,6	ГОСТ 33140

Для получения резино-битумного вяжущего (РБВ) использованы 3 вида дробленой резиновой крошки (РК) с различными соотношениями содержания целлюлозного волокна, полиэтилентерефталата и резины (РК-1, РК-2, РК-3) производства Камско-Волжского акционерного общества Резинотехники «КВАРТ».

Приготовление РБВ осуществлялось на лабораторном смесителе SILVERSON L5M (Великобритания). Для смешения РК с битумом применена стандартная перемешивающая насадка с головкой большого сдвигового усилия с квадратными отверстиями. Смешение РБВ осуществлялось в жестяных банках объемом 1 литр. Для нагрева и поддержания требуемой рабочей температуры во время приготовления и процесса дозревания использовалась масляная баня Memmert ONE 22 (Германия). В качестве теплоносителя применялось масло силиконовое ПМС-100 (ООО «Пента Юниор»). Жестяная банка с заранее взвешенным количеством битума погружалась в масляную баню, при этом жидкость не доходила до верха жестяной банки на 2-3 см.

Для приготовления РБВ использовался следующий метод. Производился нагрев битума до рабочей температуры – 160 ºС. Насадка смесителя погружалась в битум, и создавалась скорость смешения 3000 об/мин. Вводилась РК со скоростью 5 г/мин. После окончания введения добавки смешение производилось в течение 5, 15 и 30 мин при температуре 180 ºС и скорости вращения 4000 об/мин. Далее последующие 30 мин производился процесс дозревания РБВ при скорости вращения 1500 об/мин с постепенным охлаждение до 160 ºС.

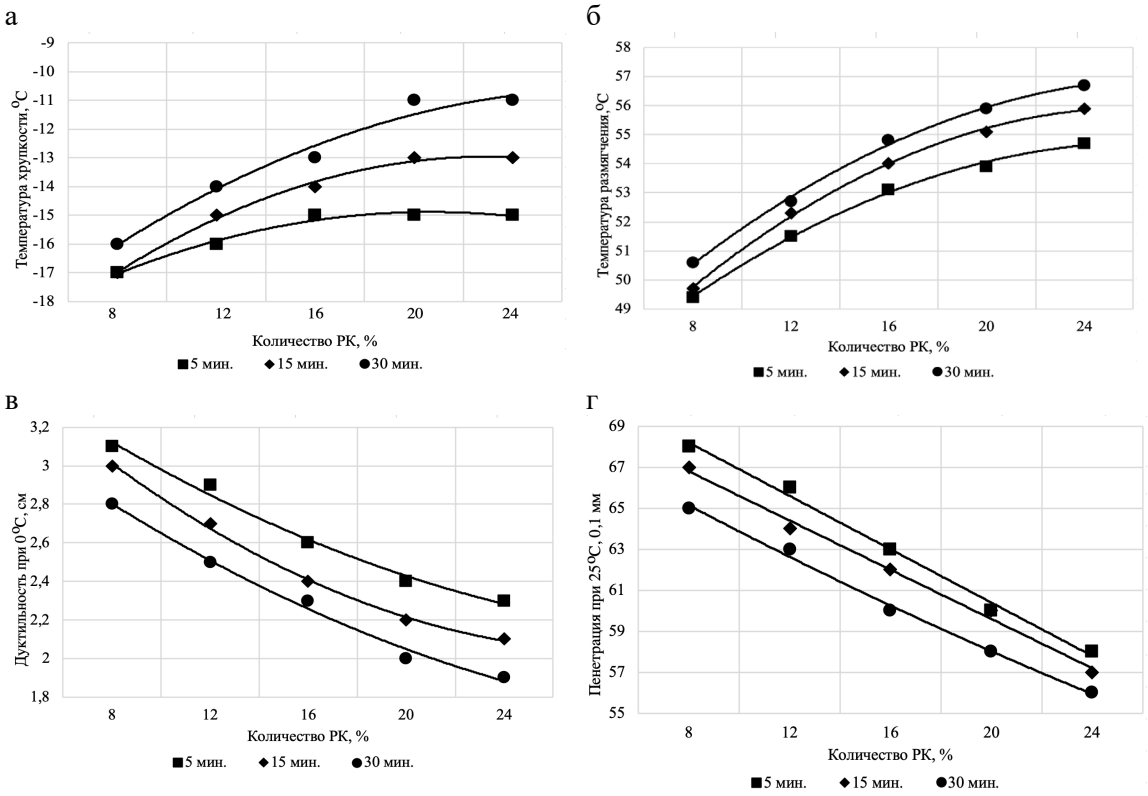


Рис. 1. Зависимость влияния количества РК и времени приготовления на физико-механические свойства РБВ
а – температура хрупкости б – температура размягчения;
в – дуктильность при 0 ºС; г – пенетрация при 25 ºС (иллюстрации аторов)
Fig. 1. Dependence of the influence of the amount of crumb rubber and preparation time on the physical and mechanical properties of the rubber-bitumen binder
a – brittleness temperature; b – softening temperature;
c – ductility at 0 °C; d – penetration at 25 ºC (illustrartions by the authors)

Испытания РБВ проводились в соответствии с ГОСТ 33133-2014. Испытания проводились по следующим показателям. Глубина проникания иглы при 25 °С по ГОСТ 33136-2014. В качестве прибора использован пенетрометр ЛинтеЛ ПН-20, производства АО «Башкирское специальное конструкторское бюро «Нефтехимавтоматика». Температура размягчения по кольцу и шару по ГОСТ 33142-2014. В качестве прибора использован аппарат автоматический для определения температуры размягчения нефтебитумов ЛинтеЛ КИШ-20, производства АО «Башкирское специальное конструкторское бюро «Нефтехимавтоматика». Растяжимость (дуктильность) при 0 °С по ГОСТ 33138-2014. Использован аппарат автоматический для определения растяжимости нефтяных битумов ЛинтеЛ ДБ-20-100, производства АО «Башкирское специальное конструкторское бюро «Нефтехимавтоматика». Температура хрупкости по Фраасу в соответствии ГОСТ 33143-2014. Пименен аппарат автоматический для определения температуры нефтяных битумов ЛинтеЛ АТХ-20, производства АО «Башкирское специальное конструкторское бюро «Нефтехимавтоматика».

С целью определения количества целлюлозы и резины в РЦК проводилась регистрация ИК-спектров образцов на Фурье ИК-спектрофотометре фирмы Perkin-Elmer,

модель Spectrum 65, с помощью приставки НПВО Miracle ATR (кристалл ZnSe) в области 4000-600 $см^{-1}$, как правило, при 20 сканах. Для регистрации ИК-спектров образцы прижимались к кристаллу НПВО специальным прижимом, входящим в комплект приставки. После регистрации автоматически осуществлялась НПВО-коррекция и сохранение спектра. Обработка спектров производилась с помощью прилагаемого программного обеспечения (Perkin-Elmer Softwear V.10.1.1).

3 Результаты и обсуждение

В табл. 2 представлены результаты испытаний РБВ на физико-механические свойства. На основе табл. 2 построены графики зависимости влияния времени приготовления и количества РК-1 на физико-механические характеристики РБВ.

Таблица 2

Зависимость влияния количества РК и времени приготовления на физико-механические свойства РБВ

№ п/п	Время приготовления	Добавка	Показатели	Дозировка резиновой крошки, %				
				8	12	16	20	24
1	5	РК-1	$П_{25}$, мм	68	66	63	60	58
2			КиШ, °С	49,4	52,5	53,1	53,9	54,7
3			$Д_0$, см	3,1	2,9	2,6	2,4	2,3
4			$Т_х$, °С	-17	-16	-15	-15	-15
5	15		$П_{25}$, мм	67	64	62	60	57
6			КиШ, °С	49,7	53,2	54,0	55,1	55,9
7			$Д_0$, см	3,0	2,7	2,4	2,2	2,1
8			$Т_х$, °С	-17	-15	-14	-13	-13
9	30		$П_{25}$, мм	65	63	60	58	56
10			КиШ, °С	50,6	53,7	54,8	55,9	56,7
11			$Д_0$, см	2,8	2,5	2,3	2,0	1,9
12			$Т_х$, °С	-16	-14	-13	-11	-11
13	5	РК-2	$П_{25}$, мм	67	65	61	59	57
14			КиШ, °С	50,6	55,9	58,1	61,4	62,3
15			$Д_0$, см	3,0	2,7	2,5	2,2	2,1
16			$Т_х$, °С	-17	-15	-13	-13	-12
17	15		$П_{25}$, мм	65	63	59	58	55
18			КиШ, °С	52,0	57,8	59,9	62,5	63,2
19			$Д_0$, см	2,8	2,6	2,2	2,1	2,0
20			$Т_х$, °С	-16	-14	-13	-13	-11
21	30		$П_{25}$, мм	64	61	57	56	53
22			КиШ, °С	53,5	58,9	61,1	63,1	63,7
23			$Д_0$, см	2,8	2,4	2,1	1,8	1,6
24			$Т_х$, °С	-15	-14	-12	-11	-11
25	5	РК-3	$П_{25}$, мм	65	63	60	58	57
26			КиШ, °С	51,1	53,7	54,9	56,3	58,1
27			$Д_0$, см	2,9	2,6	2,5	2,1	2,0
28			$Т_х$, °С	-16	-14	-12	-11	-10
29	15		$П_{25}$, мм	63	62	60	57	55
30			КиШ, °С	52,4	55,9	56,7	58,8	60,9
31			$Д_0$, см	2,6	2,3	2,2	2,0	1,8
32			$Т_х$, °С	-15	-15	-12	-10	-9
33	30		$П_{25}$, мм	62	60	59	57	54
34			КиШ, °С	53,2	56,0	57,2	61,7	62,9
35			$Д_0$, см	2,5	2,3	2,0	1,5	1,4
36			$Т_х$, °С	-14	13	-10	-10	-9

Как видно из табл. 2 и рис. 1, с введением добавок РК-1, РК-2 и РК-3 в битум в количестве от 8 до 24 % и времени приготовления от 5 до 15 минут: пенетрация при 25 °С уменьшилась на 14,92 %, 17,19 %, 12,90 %; температура размягчения повысилась на 12,47

%, 23,12 %, 18,23; дуктильность при 0 ºС снизилась на 32,43 %, 23,68 %, 37,50 %; температура хрупкости повысилась на 31,25 %, 34,54 %, 35,71 % соответственно.

Установлено, что с введением содержания добавок РК-1, РК-2 и РК-3 в РБВ повышаются высокотемпературные свойства и снижаются низкотемпературные характеристики, это связано с уменьшением содержания частиц легкой фракции в битуме из-за поглощения резиновой крошкой, а также присутствием в смеси не растворившихся частиц добавки [8, 9].

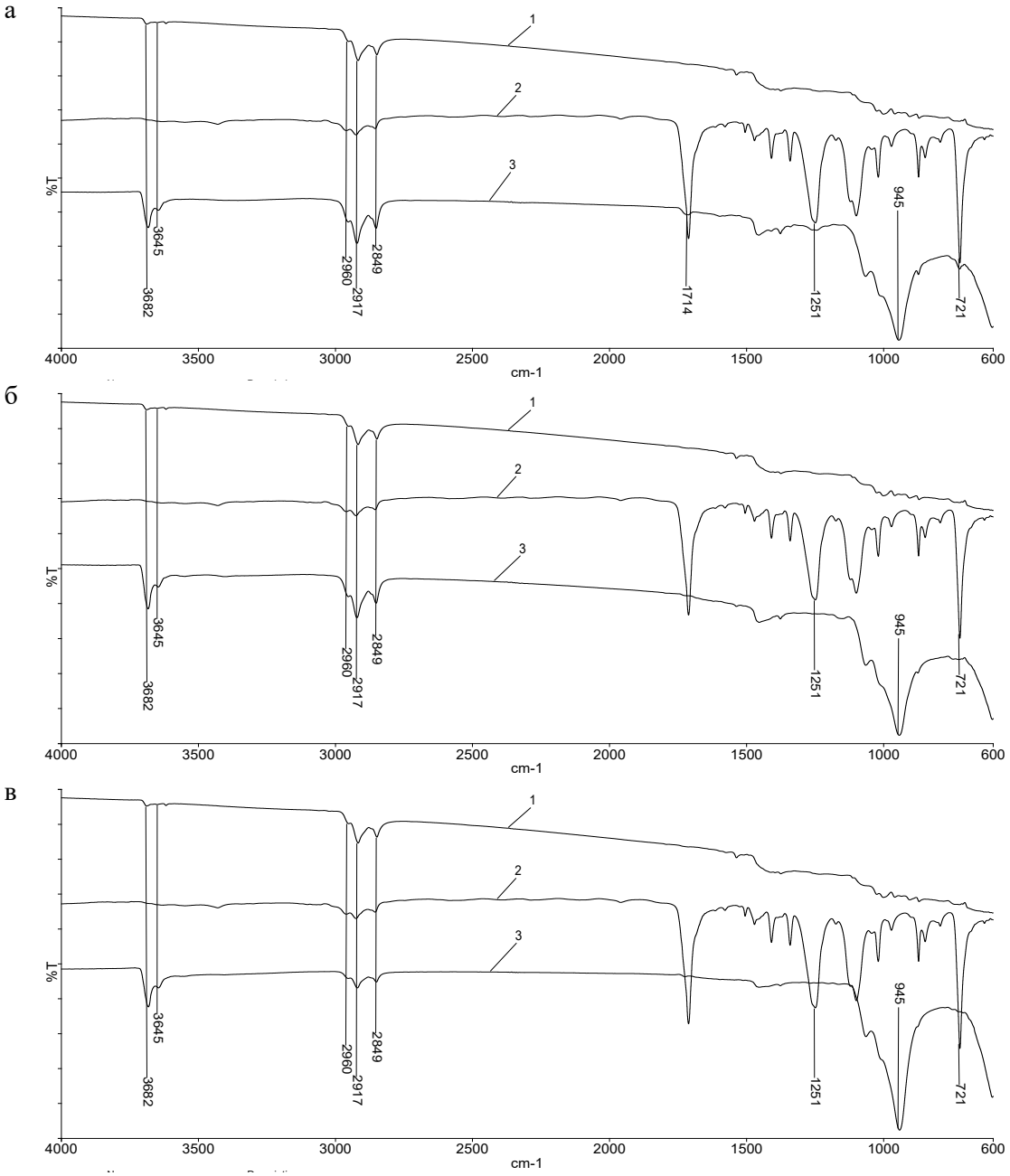


Рис. 2. ИК-спектры:
1 – резиновая крошка; 2 – полимера, входящего в состав резиновой крошки; 3 – РБВ;
а – РК-1; б – РК-2; в – РК-3 (иллюстрация авторов)
Fig. 2. IR spectra:
1 – crumb rubber; 2 – polymer included in the composition of crumb rubber;
3 – rubber-bitumen binder;
a – RK-1; b – RK-2; c – RK-3 (illustration by the authors)

Как видно из рис. 2, наиболее интенсивной в спектре РБВ на основе РК-1 является пик 945 см$^{-1}$. Эта полоса отвечает валентным колебаниям связей С-О-С в так называемых пиранозных циклах, являющихся основной структурной единицей высокомолекулярных

углеводов, в частности, целлюлозы. Преобладающая интенсивность этой полосы свидетельствует о том, что именно из целлюлозы (не менее, чем на 80 % по массе) состоит исследуемый образец. Кроме целлюлозы в состав РБВ на основе РК-1 входят в незначительных количествах также полимер полиэтилентерефталат, о чем свидетельствуют слабые по интенсивности полосы 1714 $см^{-1}$ (валентные колебания карбонильных С=О групп), а также 1251 и 721 $см^{-1}$ (деформационные колебания этих же групп), и резиновая крошка (совпадают полосы 2960, 2917 и 2849 $см^{-1}$ – валентные колебания CH_2 и CH_3-групп, а также 3682 и 3645 $см^{-1}$ – валентные колебания свободных от водородной связи ОН-групп.

В РБВ на основе РК-2 самым интенсивным также является пик 945 $см^{-1}$ (рис.2 б) пиранозных циклов, т.е. этот образец также состоит в основном из целлюлозы. Присутствует также резиновая крошка в количестве, несколько большем, чем в РБВ на основе РК-1, т.к. пики 3682 и 3645 $см^{-1}$ в спектре этого образца более интенсивны. В то же время, в этом образце отсутствуют пики полиэтилентерефталата 1714, 1251 и 721 $см^{-1}$, т.е. данный полимер в состав РК-2 не входит. Практически то же самое можно сказать и РБВ на основе РК-3 (рис. 2 в) с той лишь разницей, что содержание резиновой крошки в нем примерно вдвое меньше, чем в РБВ на основе РК-1 и РБВ на основе РК-2, т.к. пики 3682 и 3645 $см^{-1}$ примерно вдвое слабее по интенсивности.

Установлено, что основным компонентом (не менее 80-90 % по массе) во всех трех образцах является целлюлоза, о чем свидетельствует интенсивный характеристический пик 945 $см^{-1}$ пиранозных циклов, являющийся основной структурной единицей всех высокоуглеводов и, в частности, целлюлозы.

4. Заключение

Установлено, что с введением содержания добавок РК-1, РК-2 и РК-3 в РБВ повышаются высокотемпературные свойства и снижаются низкотемпературные характеристики, это связано с уменьшением содержания частиц легкой фракции в битуме из-за поглощения резиновой крошкой, а также присутствием в смеси не растворившихся частиц добавки. Модификация битума резиновой крошкой приводит к повышению устойчивости к колееобразованию асфальтобетона, однако снижает его устойчивость к низкотемпературному растрескиванию. Для повышения низкотемпературных свойств требуется оптимизация резино-битумного вяжущего с дополнительным введением добавок пластификаторов.

Показано, что с введением добавок РК-1, РК-2 и РК-3 в битум в количестве от 8 до 24 % и времени приготовления от 5 до 15 минут: пенетрация при 25 °С уменьшилась на 14,92 %, 17,19 %, 12,90 %; температура размягчения повысилась на 12,47 %, 23,12 %, 18,23; дуктильность при 0 °С снизилась на 32,43 %, 23,68 %, 37,50 %; температура хрупкости повысилась на 31,25 %, 34,54 %, 35,71 % соответственно.

Установлено, что основным компонентом (не менее 80-90 % по массе) во всех трех образцах резиновой крошки является целлюлоза, о чем свидетельствует интенсивный характеристический пик 945 $см^{-1}$ пиранозных циклов, являющийся основной структурной единицей всех высокоуглеводов и, в частности, целлюлозы.

Список литературы/References

1. Гарипов А.Р., Макаров Д.Б., Хозин В.Г., Степанов С.В. Тонкодисперсная битумная эмульсия для модификации цементного бетона дорожного назначения // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13. No 3. С. 85-97. doi: 10.15593/2224-9826/2022.3.08. [Garipov A.R., Makarov D.B., Khozin V.G., Stepanov S.V. Fine bitumen emulsion for modifying cement concrete for road use // Construction and Geotechnics. 2022. Vol. 13. No. 3. P. 85-97.]
2. Padhan R.K., Sreeram A. Enhancement of storage stability and rheological properties of polyethylene (PE) modified asphalt using cross linking and reactive polymer based additives. Construction and Building Materials. 2021. No. 188. P. 772-780. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.155.

3. Zhang W., Jia Z., Zhang Y., Hu K., Ding L., Wang F. The effect of direct-to-plant styrene-butadiene-styrene block copolymer components on bitumen modification. Polymers. 2019. No. 11. P. 140. doi: 10.3390/polym11010140.
4. Wang J., Yuan J., Xiao F., Li Z., Wang J., Xu Z. Performance investigation and sustainability evaluation of multiple polymer asphalt mixtures in airfield pavement. Journal of Cleaner Production. 2018. No. 189. P. 67-77. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.208.
5. Li J., Han M., Muhammad Y., Liu Y., Su Z., Yang J., Yang S., Duan S. Preparation and properties of SBS-G-GOS-modified asphalt based on a thiol-ene click reaction in a bituminous environment. Polymers. 2018. No. 10(11). P. 1264. doi: 10.3390/polym10111264.
6. Bilema M.A., Aman M.Y., Hassan N.A., Ahmad K.A., Elghatas H.M., Radwan A.A., Shyaa A.S. Moisture Sensitivity of Crumb Rubber Modified Modifier Warm Mix Asphalt Additive for Two Different Compaction Temperatures. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2018. No. 140. P. 012072. doi: 10.1088/1755-1315/140/1/012072.
7. Иванов С.А., Шабаев С.Н., Тюрюханов К.Ю. Утилизация резиновой крошки путем производства модифицированного битума. Инженерный вестник Дона. 2022. No 9(93). С. 143-160. [Ivanov S.A., Shabaev S.N., Tyuryukhanov K.Yu. Utilization of crumb rubber by producing modified bitumen. Engineering Bulletin of the Don. 2022. No. 9(93). P. 143-160.]
8. Jiangmiao Y., Zhibin R., Zheming G., Qi W., Zihan Zh., Huayang Y. Recycled Heavy Bio Oil as Performance Enhancer for Rubberized Bituminous Binders. Polymers. 2019. No. 11. P. 800. doi:10.3390/polym11050800.
9. Wang H., Liu X., Apostolidis P., Erkens S., Scarpas T. Numerical investigation of rubber swelling in bitumen. Construction and Building Materials. 2019. No. 214. P. 506-515. doi:10.1016/j. conbuildmat.2019.04.144.
10. Mohajerani A., Burnett L., Smith J.V., Markovski S., Rodwell G., Rahman M.T., Kurmus H., Mirzababaei M., Arulrajah A., Horpibulsuk S. Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. Resources Conservation and Recycling. 2020. No. 155. P. 104679. doi:10.1016/j.resconrec.2020.104679.
11. Кистойчева К.И. Использование битумно-резиновых материалов в строительстве. Тенденции развития науки и образования. 2023. No 96-10. С. 44-47. doi: 10.18411/trnio-04-2023-518. [Kistoicheva K.I. Use of bitumen-rubber materials in construction. Trends in the development of science and education. 2023. No. 96-10. P. 44-47. doi: 10.18411/trnio-04-2023-518.]
12. Liu H., Chen Z., Wang W., Wang H., Hao P. Investigation of the rheological modification mechanism of crumb rubber modified asphalt (CRMA) containing TOR additive. Construction and Building Materials. 2014. No. 67. P. 225-233. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.11.031.
13. Babagoli R., Jalali F., Khabooshani M. Performance properties of WMA modified binders and asphalt mixtures containing PPA/SBR polymer blends. Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2023. No. 36(1). P. 274-306. doi: 10.1177/08927057211006460.
14. Bocci E., Prosperi E., Bocci M. Rheological Modeling of Bituminous Mixtures Including Polymer-Modified Binder and Fine Crumb Rubber Added through Dry Process. Materials. 2023. No. 16. P. 310. doi: 10.3390/ma16010310.
15. Nonde L., Zejiao D., Liping C. Evaluating the High-Temperature Properties and Reaction Mechanism of Terminal Blend Rubber/Nano Silica Composite Modified Asphalt Using Activated Rubber. Nanomaterials. 2022. No. 12. P. 4388. doi: 10.3390/nano12244388.
16. Vdovin E.A., Stroganov V.F. Optimization of complex frost-resisting additives in line with operational requirements towards freezing temperature in road dressing constructions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. No. 832. P. 012034. doi: 10.1088/1757-899X/832/1/012034.

17. Vdovin E., Stroganov V., Konovalov N. Modification of Road Soil Cement with Activated Fillers. Proceedings of EECE 2020. 2021. P. 335-345. doi: 10.1007/978-3-030-72404-7_33.
18. Николаева Л.А., Вдовин Е.А., Голубчиков М.А., Мавлиев Л.Ф. Способы утилизации отработанного сорбента нефтепродуктов на основе шлама химводоочистки Казанской ТЭЦ-1. Экология и промышленность России. 2014. № 7. С. 18-20. [Nikolaeva L.A., Vdovin E.A., Golubchikov M.A., Mavliev L.F. Methods for recycling waste oil product sorbent based on chemical water treatment sludge at Kazan Thermal Power Plant -1. Ecology and industry of Russia. 2014. No. 7. P. 18-20.]
19. Bulanov P.E., Vdovin E.A. Mavliev L.F. Modification of bituminous binders with styrene-butadiene-styrene copolymer and sulfur. Construction of Unique Buildings and Structures. 2022. No. 105. P. 10504. doi: 10.4123/CUBS.105.4.

Информация об авторах

Смирнов Денис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: denis271119747@yandex.ru

Буланов Павел Ефимович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: pavel.bulanov1991@yandex.ru

Утяшева Лилия Рифовна, инженер, ГКУ «Главтатдортранс», г. Казань, Российская Федерация

E-mail: liliyautyasheva81@gmail.com

Information about the authors

Denis S. Smirnov, candidate of technical sciences, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: denis271119747@yandex.ru

Pavel E. Bulanov, candidate of technical sciences, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: pavel.bulanov1991@yandex.ru

Liliya R. Utyasheva, engineer, SPI «Glavtatdortrans», Kazan, Russian Federation

E-mail: liliyautyasheva81@gmail.com

УДК: 628.83
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_337
EDN: WFGUKM

Расчет коэффициента воздухообмена методами математического моделирования параметров микроклимата

Д.М. Денисихина[1]
[1]Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация: Использование современных методов математического моделирования параметров микроклимата позволяет рассчитать воздухораспределение и определить необходимый воздухообмен для сложных вентиляционных течений в общественных зданиях, например в театрах, ледовых аренах, атриумах. В частности, методы вычислительной гидродинамики позволяют получить коэффициент воздухообмена для течений с одновременным действием свободной и вынужденной конвекции, то есть там, где классические методы не имеют решения. В то же время, для повышения уровня доверия к методам моделирования для задач вентиляции необходимо показать их достоверность. Цель работы: показать, что для классических схем вентиляционных течений применение методов математического моделирования параметров микроклимата дает те же результаты, что и классические методы расчета воздухообмена и воздухораспределения. Задачами исследования являются: выполнить математическое моделирование распределения температуры и скорости, формируемые в помещении для следующих схем воздухораспределения: подача воздуха наклонными струями, сверху вниз настилающимися на потолок струями, горизонтальными стесненными струями, в обслуживаемую зону низкоскоростными потоками; сравнить полученные данные с существующими зависимостями для нахождения коэффициента воздухообмена для различных схем воздухораспределения. Получено, что отличия в значениях коэффициента воздухообмена по температуре, полученными численным моделированием и наиболее точным из классических методов, составили от 2% до 5% в зависимости от схемы воздухораспределения.

Ключевые слова: вентиляция, воздухораспределение, коэффициент воздухообмена, CFD-моделирование, математическое моделирование параметров микроклимата

Для цитирования: Денисихина Д.М. Расчет коэффициента воздухообмена методами математического моделирования параметров микроклимата // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 337-345, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_337, EDN: WFGUKM

Calculation of the air exchange coefficient based on CFD-simulation methods

D.M. Denisikhina[1]
[1]St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract: The use of modern methods of numerical simulation for investigation indoor air fields makes it possible to calculate the air distribution and determine the necessary air exchange for complex ventilation flows in public buildings, such as theaters, ice arenas, atriums. In particular, computational fluid dynamics methods make it possible to obtain the air exchange coefficient for flows with simultaneous action of free and forced convection, that is, where

classical approaches have no solution. At the same time, in order to increase the validity level of CFD-methods for ventilation purpose, it is necessary to show their reliability. The objectives of the study are to compare the results of using classical methods for calculating air exchange and the method of CFD simulation for various air distribution schemes: air supply by inclined jets, from top to bottom by jets spreading on the ceiling, horizontal constrained jets, into the occupied area with low-speed velocity. Results: it was found that the differences in the values of the air exchange coefficient by temperature obtained with numerical simulation and the most accurate of the classical methods ranged from 2% to 5%, depending on the air distribution scheme.

Keywords: ventilation, air distribution, air exchange coefficient, CFD-methods, numerical simulation of indoor air fields

For citation: Denisikhina D.M. Calculation of the air exchange coefficient based on CFD-simulation methods // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 337-345, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_337, EDN: WFGUKM

1. Введение

Проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха для различных помещений непосредственно связано с расчетами воздухообмена и воздухораспределения.

Расчетом воздухораспределения и определением необходимого воздухообмена занимались ученые еще с 40-х годов прошлого века. При этом, решались две основные задачи:

1. Рассчитать расход приточного воздуха, который необходимо подать в помещение для ассимиляции имеющихся в нем тепло- , влаго- и газо избытков;

2. Обеспечить не превышение допустимых значений скорости, перепада температуры в рабочей зоне при выбранных способах и средствах раздачи воздуха.

При этом можно выделить следующие классические методы расчета воздухообмена и воздухораспределения:

1. Воздухообмен рассчитывается исходя из предположения, что распределение параметров микроклимата в помещении равномерное по площади и высоте (метод №1, с 40-х г.г).

2. Доказано, что есть связь между температурой, концентрацией вредных веществ в обслуживаемой зоне и уходящем воздухе. С учетом этой связи [1] находится величина требуемого воздухообмена. После этого проводится расчет воздухораспределения с определением параметров в струях (скоростей, температур, концентраций) на входе в обслуживаемую зону: метод расчета по опасной точке (метод №2, с 70-х г.г.).

3. Проведение совместного расчета воздухообмена и воздухораспределения, предложенного Г.М. Позиным [2]. При таком подходе в уравнения для расчета воздухообмена входят зависимости для температур, концентраций при выбранном способе воздухораспределения. Для поиска конечного решения проводится перебор по схемам воздухораспределения, количеству воздухораспределительных устройств в помещении и пр. (метод №3, с 90-х г.г).

Таким образом, начиная с 70-хх годов, для нахождения величины воздухообмена необходимо было задать связь между температурой в обслуживаемой зоне и на вытяжных устройствах. Поиску именно этой связи было посвящено большое число работ советских ученых.

Однако, в результате исследований, ученые пришли к выводу о том, что на распределение температуры воздуха по высоте помещения влияет огромное число факторов и поэтому вывести единую формулу не представляется возможным.

Поэтому в справочниках, пособиях для расчета вентиляции появляются значения коэффициентов воздухообмена, приведенные для конкретных схем и условий вентилирования помещений. Распространение данных значений на случаи, отличные от приведенных в литературе, могло приводить к существенным ошибкам в определении величины требуемого воздухообмена.

Кроме того, все исследованные варианты и, соответственно, указания по назначению коэффициента воздухообмена относились либо к течениям с преобладанием вынужденной, либо свободной конвекции. В силу своей сложности, не рассматривались варианты, когда общее течение определяется одновременным действием приточных и конвективных струй. А это имеет место для большого числа вентиляционных течений, где сосредоточенная подача воздуха соседствует с мощными свободно-конвективными струями, поднимающимися, например от массива зрителей, нагретых поверхностей теплого пола и т.д. А также, например, при совместном использовании вытесняющей и перемешивающей вентиляции, что характерно для таких объектов как театры, стадионы и т.д.

Поэтому расчет воздухообмена и воздухораспределения оставался нерешенной проблемой [3]

Развитие вычислительных методов, вычислительных ресурсов (кластеров, суперкомпьютеров) дало новую жизнь дифференциальным нелинейным уравнениям Навье-Стокса – стало принципиально возможным использование данных уравнений без упрощений для решения любого класса вентиляционных течений, в том числе и теоретически плохо изученных течений с одновременным действием приточных и конвективных струй.

В настоящее время методы математического моделирования распределенных параметров приобретают все большую популярность для решения задач воздухораспределения [4-6]. Методы численного моделирования активно используются для анализа распространения вредностей по объему помещений [7-9], анализа эффективности воздухообмена [10], исследования течений к вытяжным отверстиям и в самих вытяжных устройствах и воздуховодах [11-13]. Их использование для задач вентиляции большеобъёмных помещений [14-16] с одновременным действием сил свободной и вынужденной конвекции дает существенное отличие в коэффициентах воздухообмена, взятых согласно классическим методам и полученным при CFD-моделировании.

Однако, для подтверждения правомерности использования методов математического моделирования распределенных параметров для задач вентиляции, необходимо показать достоверность получаемых с помощью них результатов.

Целью работы является подтверждение того, что для классических схем вентиляционных течений применение методов математического моделирования дает те же результаты, что и классические методы расчета воздухообмена и воздухораспределения.

Задачами исследования являются:

– выполнить математическое моделирование распределения температуры и скорости, формируемые в помещении для следующих схем воздухораспределения: подача воздуха наклонными струями, сверху вниз настилающимися на потолок струями, горизонтальными стесненными струями, в обслуживаемую зону низкоскоростными потоками;

– сравнить полученные данные с существующими зависимостями для нахождения коэффициента воздухообмена для различных схем воздухораспределения.

2. Материалы и методы

Уравнения сохранения (1)-(6), используемые в настоящей работе при CFD-моделировании и описывающие вентиляционные течения в объеме помещений, аналогичны [17].

Уравнение сохранения массы

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0, \tag{1}$$

уравнение сохранение импульса

$$\frac{\partial \rho \vec{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau} + \bar{\tau}_t) + \rho \vec{g}, \tag{2}$$

тензор вязких напряжений$\bar{\tau}$, определен с помощью реологического закона Ньютона

$$\overline{\tau} = \mu(\nabla\vec{V} + [\nabla\vec{V}]^T) - \frac{2}{3}\mu\nabla\cdot\vec{V}\overline{I}, \quad (3)$$

а тензор турбулентных напряжений $\overline{\tau}_t$ – в соответствии с обобщенной гипотезой Буссинеска

$$\overline{\tau}_t = \mu_t(\nabla\vec{V} + [\nabla\vec{V}]^T) - \frac{2}{3}\mu_t\nabla\cdot\vec{V}\overline{I} - \frac{2}{3}\rho k\overline{I}, \quad (4)$$

уравнение сохранения энергии

$$\frac{\partial\rho E}{\partial t} + \nabla\cdot(\vec{V}[\rho E + p]) = \nabla\cdot(\vec{V}\cdot[\overline{\tau} + \overline{\tau}_t]) - \nabla\cdot(\vec{q} + \vec{q}_t) + S_r, \quad (5)$$

где $\vec{q}, \vec{q}_t$ – молекулярная и турбулентная составляющие вектора плотности теплового потока, Вт/м^2; ρ — плотность воздуха, кг/м^3; $\vec{V}$— скорость потока, м/с; $\overline{I}$ — единичный тензор; t — время, с; S_r – источниковый член радиационного потока тепла, Вт/м^3.

Для нахождения характеристик турбулентности необходимо использование той или иной модели турбулентности, например *k*-ε.

В общем случае система уравнений (1)-(5) дополняется уравнениями радиационного теплообмена [15]

$$\nabla\cdot(I(\vec{r},\vec{s})\vec{s}) + (a+\sigma_s)I(\vec{r},\vec{s}) = a\frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi}\int_0^{4\pi} I(\vec{r},\vec{s}')\Phi(\vec{s}\cdot\vec{s}')d\Omega' \quad (6)$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор, м; $\vec{s}$– вектор направления излучения; $\vec{s'}$– вектор рассеяния; a – коэффициент поглощения, 1/м; σ_s - коэффициент рассеяния, 1/м; I – полная интенсивность излучения, зависящая от радиус-вектора и направления излучения, Вт/м^2; Ф – индикатриса рассеяния, Ω' – телесный угол, σ – постоянная Стефана -Больцмана ($5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/(м$^2\cdot$К^4)).

Моделирование было выполнено с помощью вычислительного комплекса STAR-CCM+.

В работе были рассмотрены четыре классические схемы воздухораспределения:

- ✓ схема №1, подача воздуха сверху вниз настилающимися на потолок струями;
- ✓ схема №2, подача воздуха сверху вниз наклонными струями;
- ✓ схема №3, подача воздуха горизонтальными стесненными струями выше рабочей зоны при формировании обратного потока в обслуживаемой зоне;
- ✓ схема №4, подача воздуха в обслуживаемую зону низкоскоростными потоками.

В задачах было принято: суммарные явные тепловыделения от людей 300 Вт, температура приточного воздуха 21 °С. Расход приточного воздуха составлял 300 м^3/ч для схем №1, №2 и №4. Для схемы №3 расход задавался равным 600 м^3/ч. Размеры помещений и расход выбирались таким образом, чтобы сохранялась расчетная схема воздухораспределения для каждого из вариантов.

Для схем №1-№4 рассчитывался коэффициент воздухообмена по теплоте, которым принято оценивать взаимосвязь между параметрами удаляемого воздуха и нормируемыми параметрами в рабочей/обслуживаемой зоне:

$$k_L^t = \frac{t_{\text{ух}} - t_0}{t_{\text{р.з}} - t_0}, \quad (7)$$

здесь t_0 – температура в приточном воздухе, °С; $t_{\text{р.з.}}$ –температура в рабочей/обслуживаемой зоне, °С; $t_{\text{ух.}}$ –температура удаляемого воздуха, °С.

При этом проводилось сравнение величин коэффициента воздухообмена, полученного при использовании методов №2, №3 и метода CFD-моделирования параметров микроклимата (Таблица 1). Метод №1 наиболее грубый и предполагает равенство коэффициента воздухообмена единице для любых вентиляционных течений, поэтому сравнению по нему не проводилось.

Для расчета методом CFD-моделирования была построена конечнообъемная расчетная сетка размерностью 2,1-3,5 млн. ячеек с измельчением в областях распространения струи, нахождения людей.

3. Результаты и обсуждение

Расчёт коэффициентов воздухообмена для метода №3 выполнялся по формулам (8-11) [2] без привлечения методов численного моделирования :

1. подача воздуха сверху вниз настилающимися на потолок струями

$$k_L^t = \frac{\overline{L}_{\text{стр}} - \overline{Q}_{\text{р.з}}\overline{L}_{\text{р.з}}\left(1 - \frac{F_{\text{стр}}}{F_{\text{п}}}\right)}{\overline{L}_{\text{стр}} + +\overline{Q}_{\text{р.з}}\left(1 - \overline{L}_{\text{р.з}}\right)\left(1 - \frac{F_{\text{стр}}}{F_{\text{п}}}\right) - 1}, \quad (8)$$

2. подача воздуха сверху вниз наклонными струями

$$k_L^t = \frac{\theta\overline{L}_{\text{стр}} - \overline{Q}_{\text{р.з}}\overline{L}_{\text{р.з}}}{\theta\left(\overline{L}_{\text{стр}} - 1\right) + \overline{Q}_{\text{р.з}}\left(1 - \overline{L}_{\text{р.з}}\right)}, \quad (9)$$

3. подача воздуха горизонтальными стесненными струями выше рабочей зоны при формировании обратного потока в обслуживаемой зоне

$$k_L^t = 1 - \frac{1}{\overline{L}_{\text{кр}}}, \quad (10)$$

4. подача воздуха в обслуживаемую зону низкоскоростными потоками

$$k_L^t = \frac{a\left[\overline{L}_{\text{стр.к}} + \overline{L}_{\text{р.з}}\left(1 - \overline{Q}_{\text{р.з}}\right)\right] + \overline{L}_{\text{р.з}}\left(\overline{L}_{\text{стр.к}} + \overline{L}_{\text{р.з}} - 1\right)\overline{Q}_{\text{к}}}{a\left[\overline{L}_{\text{стр.к}} - \left(1 - \overline{L}_{\text{р.з}}\right)\left(1 - \overline{Q}_{\text{р.з}}\right)\right] - \left(1 - \overline{L}_{\text{р.з}}\right)\left(\overline{L}_{\text{стр.к}} + \overline{L}_{\text{р.з}} - 1\right)\overline{Q}_{\text{к}}}. \quad (11)$$

Где $\overline{L}_{\text{стр}} = \frac{L_{\text{стр}}}{L_0}$ - относительный условный расход воздуха в струе при входе в рабочую зону, L_0 – расход приточного воздуха, м^3/ч, $\overline{L}_{\text{р.з}} = 0$ - расход воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические нужды. Принимается, что при подаче охлажденного воздуха $\theta = 1$. $\overline{Q}_{\text{р.з}}$ – доля избытков явной теплоты, поступающей в рабочую зону. $\frac{F_{\text{стр}}}{F_{\text{п}}}$ – отношение площади струи при входе ее в рабочую зону к площади пола помещения, приходящейся на одну струю. $\overline{L}_{\text{кр}} = \frac{L_{\text{кр}}}{L_0}$ - относительный расход воздуха во втором критическом сечении, где $a = max\{\overline{L}_{\text{к}}, 1 - \overline{L}_{\text{р.з.}}\}$, $\overline{L}_{\text{к}}$ – расход в конвективной струе над нагретым источником, $\overline{L}_{\text{стр.к}}$ – относительный расход воздуха в приточной струе в конце пути ее развития в рабочей зоне. Результаты расчетов по формулам (8)-(11) приведены в Таблице 1.

Значения коэффициентов воздухообмена для метода №2 были взяты из [1], значения представлены в Таблице 1.

При выполнении численных исследований для схем течений №1-№4 коэффициенты воздухообмена были рассчитаны по формуле (7), где $t_{\text{р.з}}$ бралось из обработки результатов моделирования (выполнялось осреднение полученного поля температур по обслуживаемой зоне). Схема течений для №1-№4, а также поля температуры, полученные при использовании CFD-моделирования, приведены на Рис. 1 Рис.4. Значения коэффициента воздухообмена, полученные из обработки распределения температуры по высоте помещения, представлены в Таблице 1.

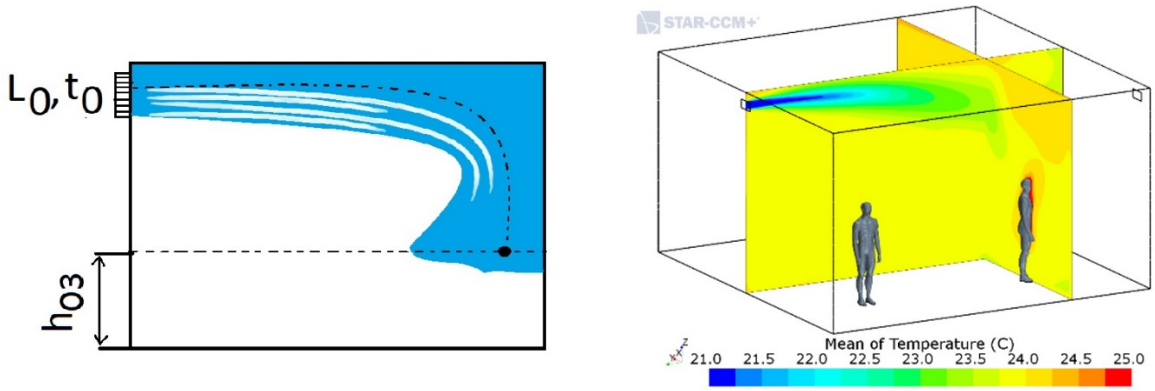


Рис.1. Подача воздуха сверху вниз настилающимися на потолок струями
(иллюстрация авторов)
Fig.1. Air supply with jets spreading along the ceiling
(illustration by the authors)

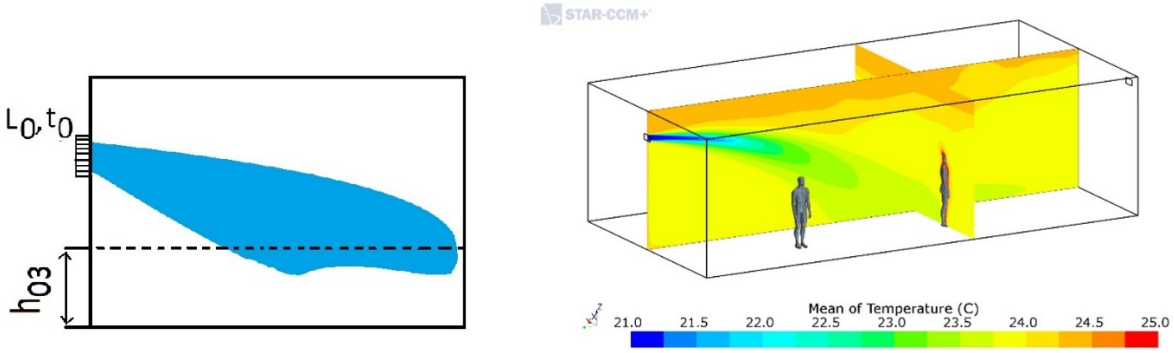


Рис.2. Подача воздуха сверху вниз наклонными струями
(иллюстрация авторов)
Fig.2. Air supply with inclined jets
(illustration by the authors)

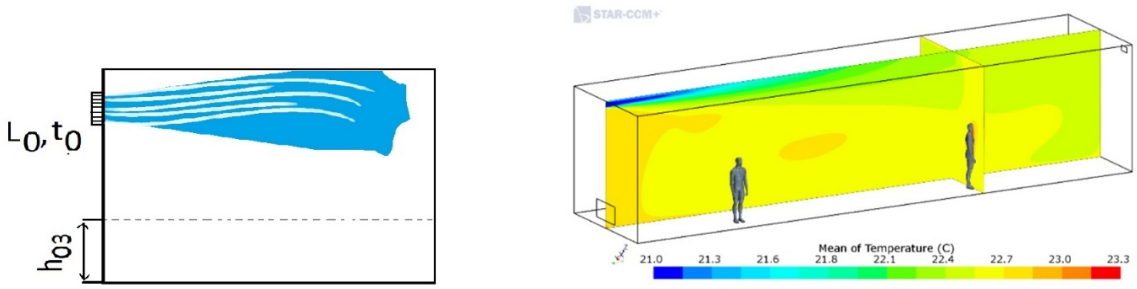


Рис.3. Подача воздуха горизонтальными стесненными струями выше рабочей зоны при формировании обратного потока в обслуживаемой зоне
(иллюстрация авторов)
Fig.3. Air supply with horizontal jets above the occupied area while forming a reverse flow in the occupied area
(illustration by the authors)

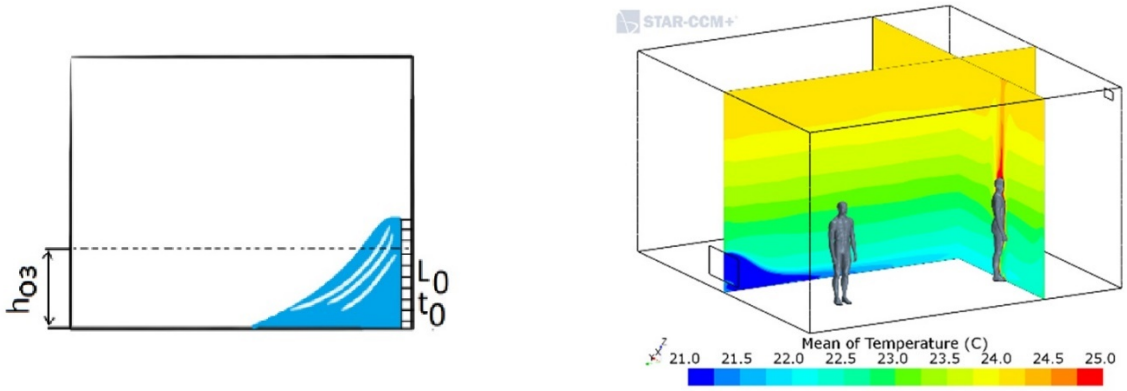


Рис.4. Подача воздуха в обслуживаемую зону низкоскоростными потоками (иллюстрация авторов)
Fig.4. Air supply to the occupied area with low velocity (illustration by the authors)

Получено, что для классических схем воздухораспределения значения коэффициентов воздухообмена (a, следовательно, и требуемый воздухообмен), полученные на основе классических методов и метода моделирования параметров микроклимата хорошо согласуются. При этом различие в результатах, полученных на основе метода CFD-моделирования и метода №3 (наиболее точного из классических методов) составляет не более 5%.

Различие между методом моделирования распределенных параметров (как и методом №2) с методом №1 для всех рассмотренных вариантов (кроме подачи воздуха непосредственно в рабочую зону) составляет менее 10%. Максимальное отличие при подаче воздуха непосредственно в рабочую зону связано с тем, что большое влияние в этом случае оказывает доля тепла, остающаяся в рабочей зоне и уходящая наверх, кроме того, в этом случае скорости в приточных струях и конвективных струях оказываются сравнимыми, что также затрудняет использование классических методов.

Таблица 1

Значения коэффициентов воздухообмена для различных схем подачи воздуха

	сверху вниз настилающимися на потолок струями	сверху вниз наклонными струями	горизонтальными стесненными струями выше рабочей зоны	в обслуживаемую зону низкоскоростным и потоками
метод №2 (справочник проектировщика [1])	0,95	1,15	0,95	1,3
метод №3 (Г.М. Позин [2])	1,05	1,06	0,90	1,74
CFD-моделирование	1,01	1,04	0,92	1,82

Таким образом, показано, что для классических схем вентиляционных течений применение математического моделирования параметров микроклимата дает те же результаты, что и классические методы расчета воздухораспределения.

4. Заключение

1. Выполнено численное исследование распределения температуры и скорости, формируемые в помещении для следующих схем воздухораспределения: подача воздуха

наклонными струями, сверху вниз настилающимися на потолок струями, горизонтальными стесненными струями, в обслуживаемую зону низкоскоростными потоками.

2. Получено совпадение значений коэффициента воздухообмена для классических схем воздухораспределения, рассчитанных по существующим полуэмпирическим зависимостям и полученных с помощью метода математического моделирования распределенных параметров микроклимата. Так, отличия в значениях коэффициента воздухообмена по температуре, полученным математическим моделированием и наиболее точном из классических методов составили:

подача приточного воздуха сверху вниз настилающимися на потолок струями – 4%;

подача приточного воздуха сверху вниз наклонными струями– 2%;

подача приточного воздуха горизонтальными стесненными струями выше рабочей зоны – 2%;

подача приточного воздуха в обслуживаемую зону низкоскоростными потоками – 5%.

Список литературы/ References

1. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1 и 2. Справочник проектировщика. Под редакцией к. т. н. Н. Н. Павлова и инж. Ю. И. Шиллера. Москва. Стройиздат. 1992 г. [Internal sanitary installations. Part 3. Ventilation and air conditioning. Book 1 and 2. Designer's Handbook. Moscow. 1992]
2. Позин Г.М. О точности определения коэффициента воздухообмена // Вестник МГСУ. 2011. №7. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-tochnosti-opredeleniya-koeffitsienta-vozduhoobmena-1 [Pozin G.M. On the accuracy of determining the air exchange coefficient // Vestnik MGSU. 2011. Iss. 7]
3. Посохин В. Н. О расчете воздухообмена/В. Н. Посохин // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 4. С.84-88. [Posokhin V. N. Air exchange calculation // S.O.K. Plumbing, heating, air conditioning. 2014. Iss. P.84-88]
4. Shokofe, R.; Majid, A.; Hasan, M. Investigating impact of gas emission uncertainty on airflow distribution in an auxiliary ventilation system using CFD and Monte-Carlo simulation // Build. Environ. 2021. №204. 108165.
5. Raphael Kubeba Tabase, Veerle Van linden, Ozer Bagci, Michel De Paepe, André J.A. Aarnink, Peter Demeyer. CFD simulation of airflows and ammonia emissions in a pig compartment with underfloor air distribution system: Model validation at different ventilation rates // Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 171. Article 105297.
6. W. Chen, J. Liu, C.M. Mak, P. Wang, L. Zhao, H.M. Wong. Near fields of annular slotted hoods measured via 2D-PIV // Build. Environ. 2018. Vol 144. P. 1–8
7. Motamedi et al., H. Motamedi, M. Shirzadi, Y. Tominaga, P.A. Mirzaei. Cfd modeling of airborne pathogen transmission of COVID-19 in confined spaces under different ventilation strategies // Sustainable Cities and Society. 2022. №76. Article 103397.
8. Z. Wang, E.R. Galea, A. Grandison, J. Ewer, F. Jia. A coupled Computational Fluid Dynamics and Wells-Riley model to predict COVID-19 infection probability for passengers on long-distance trains // Safety science. 2022. № 147. Article 105572.
9. Keyvan Ahmadi Babadi, Hossein Khorasanizadeh, Alireza Aghaei. CFD modeling of air flow, humidity, CO2 and NH3 distributions in a caged laying hen house with tunnel ventilation system // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Volume 193. Article 106677.
10. V. Adjiski, D. Mirakovski, Z. Despodov, S. Mijalkovski. Method for determining the air change effectiveness of the auxiliary forcing ventilation system in underground mines using CFD software. Mining Science. 2018. Vol. 25. P. 175–192
11. K.I. Logachev, A.M. Ziganshin, O.A. Averkova. On the resistance of a round exhaust hood, shaped by outlines of the vortex zones occurring at its inlet, Build Environ. Times, 151 (2019), pp. 338-347

12. K.I. Logachev, A.M. Ziganshin, O.A. Averkova. A study of separated flows at inlets of flanged slotted hoods // Journal of Building Engineering, Volume 29, 2020, Article 101159
13. Зиганшин А.М., Каримуллин Т.Л., Ягфаров Э.И. Настройка численного решения задачи о течении воздуха в вентиляционных крестовинах // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 8. С. 42-49 [Ziganshin A. M., Karimullin T. L., Yagfarov E. I. Setting a numerical solution to the problem of air flow in ventilation cross junctions // Izvestiya VUZov. Construction. 2021. Vol. 8. P. 42-49
14. Pierre-Emmanuel Bournet, Fernando Rojano. Advances of Computational Fluid Dynamics (CFD) applications in agricultural building modelling: Research, applications and challenges // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Volume 201. Article 107277.
15. A. Palmowska, B. Lipska, Research on improving thermal and humidity conditions in a ventilated ice rink arena using a validated CFD model // International Journal of Refrigeration. 2018. Vol. 86. P. 373-387
16. W. Lin, X. Liu, T. Zhang, Z. Zhou. Investigation of displacement and jet ventilation systems applied in an ice rink // Journal of Building Engineering. 2022. Vol.50. Article 104179
17. Денисихина Д.М. Численное исследование закономерностей распределения CO2 в общественных зданиях // Инновации и инвестиции. 2023. № 5. С. 368-372 [Denisikhina D. M. Numerical simulation of CO2 distribution in public buildings // Innovation and investment. 2023. Vol 5. P. 368-372

Информация об авторах

Денисихина Дарья Михайловна, кандидат физико-математических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: denisikhina@mail.ru

Information about the authors

Daria M. Denisikhina, Candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russian Federation
E-mail: denisikhina@mail.ru

УДК: 697.92
DOI: 10.52409/20731523_2023_4_346
EDN: XOQLXY

Постановка задачи о течении в узле, состоящем из вытяжного отверстия и колена на 90°

Ю.Р. Кареева[1], А.М. Зиганшин[1], М.Б. Чухлова[1]
[1]Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* При проектировании систем вентиляции в современных зданиях все чаще встречаются нетиповые схемы, включающие в себя большое количество фасонных элементов. При этом, выполнение аэродинамического расчета проводится с использованием коэффициентов местного сопротивления одиночных элементов, когда их взаимное влияние друг на друга не учитывается. *Целью* исследования является определение влияния настроек и моделей вычислительного комплекса на адекватность моделирования течения в узле, состоящем из последовательно расположенных вытяжного отверстия и колена. Для достижения поставленной цели решаются следующие *задачи*: определение влияния настроек численной модели на сходимость итерационного процесса; валидация значений коэффициентов местного сопротивления и очертаний вихревых зон, получаемых при использовании разных сочетаний моделей турбулентности и пристеночных функций, средней скорости в вытяжном канале, для конструктивных вариантов – «прямой», «длинный» и «короткий» канал.
Результаты. Определено влияние комбинации моделей турбулентности и пристеночных функций на адекватность полученного течения в узле, содержащем колено и вытяжное отверстие при разных скоростях, получены картины течений и очертания вихревых зон для рассматриваемых конфигураций узла, рассчитаны коэффициенты местных сопротивлений.
Выводы. Полученные результаты исследования говорят о том, что близко расположенные элементы оказывают значительное влияние на общее сопротивление узла. Этот факт необходимо учитывать при выполнении аэродинамического расчета систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: вентиляция, вытяжное отверстие, колено, вычислительная гидродинамика, вихревые зоны, коэффициент местного сопротивления

Для цитирования: Кареева Ю.Р., Зиганшин А.М., Чухлова М.Б. Постановка задачи о течении в узле, состоящем из вытяжного отверстия и колена на 90° // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 346-356, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_346, EDN: XOQLXY

Statement of the problem of the flow in a node consisting of an exhaust hole and a 90° elbow

Yu.R. Kareeva[1], A.M. Ziganshin[1], M.B. Chukhlova[1]
[1]Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement*. When designing ventilation systems in modern buildings, atypical schemes that include a large number of shaped elements are increasingly used. At the same time, the aerodynamic calculation is carried out using the local drag coefficients of single elements, when their mutual influence on each other is not taken into account. The purpose of

the study is to determine the influence of the settings and models of the computer modelling software on the adequacy of modeling the flow in a node consisting of a sequentially located exhaust opening and elbow. To achieve this goal, the following tasks are solved: determining the influence of the numerical model settings on the convergence of the iterative process; validation of the local drag coefficients values and outlines of the vortex zones obtained using different combinations of turbulence models and wall functions, average velocities in the exhaust channel, for design options - “straight”, “long” and “short” channel.
Results. The influence of the combination of turbulence models and wall functions on the adequacy of the resulting flow in a node containing an elbow and an exhaust opening at different velocities was determined, flow patterns and outlines of the vortex zones were obtained for the considered node configurations, and local drag coefficients were calculated.
Conclusions. The results of the study indicate that closely spaced elements have a significant impact on the overall resistance of the node. This fact must be taken into account when performing aerodynamic calculations of ventilation and air conditioning systems.

Keywords: ventilation, exhaust opening, elbow, computational fluid dynamics, vortex zones, local drag coefficient

For citation: Kareeva Yu.R., Ziganshin A.M. , Chukhlova M.B. Statement of the problem of the flow in a node consisting of an exhaust hole and a 90° elbow // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.346- 356, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_346, EDN: XOQLXY

1. Введение

В современном строительстве все больше нетиповых архитектурных и конструктивных решений, что приводит и к нетиповым схемам инженерных систем. В частности, такие системы, в том числе и системы вентиляции сильно разветвлены и включают в себя большое количество фасонных элементов. Для систем вентиляции, стандартные «острые» фасонные элементы являются основными источниками потерь давления в сети воздуховодов, которые возникают из-за существенной деформации потока в них, а также из-за образования вихревых зон при срыве потока с острых кромок таких элементов. Это приводит к завышенным затратам электроэнергии на приводы установок как систем вентиляции [1], так и газоходов теплоэнергетических систем [2]. Имеется большое разнообразие фасонных элементов, их конструктивных исполнений и комбинаций. Приточные и вытяжные решетки, установленные в помещениях, могут быть присоединены к воздуховодам не только непосредственно или через камеры статического давления, но и с использованием нескольких фасонных элементов. Ясно, что, в таком случае близко расположенные фасонные элементы оказывают влияние друг на друга. Однако вопросу взаимного влияния фасонных элементов как с точки зрения суммарного сопротивления таких узлов, так и с точки зрения особенностей течений и вихреобразования в них уделяется мало внимания. В специальной справочной литературе есть лишь отрывочные сведения, которые для некоторых сочетаний фасонных элементов, например двух последовательно расположенных друг за другом колен, указывают на существенно увеличенное сопротивление при небольших расстояниях между ними [3]. В то время как обычно существующие экспериментальные, численные и аналитические исследования, обычно рассматривают течение воздуха в различных фасонных элементах, расположенных изолированно друг от друга (одиночных), с выдерживанием между ними достаточных по длине прямых участков. Кроме того в практике проектирования вообще взаимное влияние на сопротивление фасонных элементов не учитывают, а данные об очертаниях вихревых зон и их зависимостей от расстояния между отдельными фасонными элементами в узле имеются только для спаренных колен [4,5]. Поэтому актуальным является расширение конфигураций часто использующихся на практике вариантов сочетаний фасонных элементов, как для исследования закономерностей течений в них, так и для повышения точности аэродинамических расчетов систем вентиляции путем корректировки данных о сопротивлении узлов из близкорасположенных фасонных элементов, в частности вытяжных отверстий и следующих за ними коленами на 90°.

На сегодняшний день для исследования течений жидкости в сложных случаях широко используется численный эксперимент с использованием программных комплексов реализующих методы вычислительной гидродинамики (ВГД, CFD). Однако, одним из важных условий является корректная установка граничных условий, моделей турбулентности и т.д. – нахождения их определенного сочетания – разработка численной модели, такой чтобы получаемые результаты соответствовали достоверно известным. Этот этап обычно называют валидацией численной (компьютерной) модели.

Известны исследования, посвященные валидации численной модели течения в фасонных элементах систем вентиляции, в которых, в качестве моделей турбулентности чаще всего используются двухпараметрические модели - «стандартная k-ε» или «стандартная» или SST k-ω [6]. Кроме этого в некоторых случаях используется модель с пятью параметрами – модель Рейнольдсовых напряжений (Reynolds Stress Model, RSM), которая считается более подробно учитывающей сложные особенности течения возникающие при отрывах, вращательном движении и при изменении кривизны поверхности в направлении потока [7].

В исследованиях [8,9] представлены результаты исследования течения в канале с приточным торцевым отверстием присоединенным к магистральному воздуховоду посредством колена на 90°. Валидация решения показала, что более точные результаты получаются при использовании «стандартной» k-ε, а при использовании модели *RSM* задача расходится. Определено, что при исследованных относительных расстояниях между отводом и приточным отверстием (*l/b*, где *b* - ширина канала) изменяющихся от 2,5 до 8 значение коэффициента местного сопротивления (КМС) узла наблюдается выше, чем сумма одиночных КМС колена и приточного отверстия с решеткой. При изменении расстояния между фасонными элементами КМС узла также меняется. Аналогично показана зависимость и относительной осевой скорости от расстояния между элементами.

В то же время аналогичная ситуация по определению взаимного влияния отверстия и колена, но для случая вытяжной системы не рассматривалась. В этом случае будет интересно определять зависимость от расстояния между элементами, как для КМС, так и для очертаний вихревых зон. Такие исследования имеют большой потенциал при усовершенствовании фасонных элементов систем вентиляции с целью снижения их аэродинамического сопротивления. Сейчас большое внимание уделяется снижению энергопотребления, в том числе системами вентиляции. При этом основные потери давления в сети воздуховодов приходятся на местные потери, то есть потери, связанные с аэродинамическим несовершенством узлов резкого изменения и деформации потоков. Имеется большое количество исследований по снижению сопротивления фасонных элементов, которые можно условно разделить на две группы. К первой группе можно отнести способы, связанные с включением в конструкцию различных разделяющих экранов и направляющих лопаток. При использовании таких лопаток в разных конструкциях тройников авторам удалось снизить сопротивление проходу жидкости через тройник на величины от 30 до 40% на вытяжных [10–12] и от 4 до 80% на приточном [13] тройниках. Для отводов подобное усовершенствование приводит к снижению КМС на величину около 25% [14]. Ко второй группе можно отнести все виды изменения формы стенок фасонных элементов, здесь имеется ряд исследований по оптимизации формы внутренней и наружной дуг образующих отвод перебором разных вариантов, по сетке нанесенной рядом со стандартными дугами окружности [15]. Кроме этого можно выделить исследования основанные на использовании форм из природы – биомиметика. Например в работе [6] для скривления стенок вентиляционного тройника используется форма ответвления от ствола растения, а в [16] для этого уже используется очертания береговой линии реки в месте присоединения притока к основному руслу. Для отвода аналогичное биомиметическое исследование [17] предлагает использовать для усовершенствования стенок отвода – форму гортани человека. Такие способы приводят к снижению сопротивления до 30% и зависят от конструктивных характеристик и расхода воздуха проходящего через фасонный элемент в случае тройника. Еще одним примером совершенствования формы стенок элементов является использование топологической

оптимизации, когда с использованием оптимизационных алгоритмов и заранее наложенных ограничений на изменение формы, проводится численное моделирование и поиск такой формы стенок, при которой наблюдается минимальное аэродинамическое сопротивление. В [18] таким образом находятся формы отводов и тройников, в [19] – отводов на 180° и крестовин, в [20] – отводов на 90°. При этом все приведенные выше способы усовершенствования конструкции, приводят к существенному усложнению их изготовления – внедрение дополнительных элементов в виде лопаток и экранов или создание сложных форм стенок или увеличения их габаритов. Этих недостатков практически лишен способ снижения сопротивления путем профилирования стенок фасонных элементов по очертаниям вихревых зон [21].

Наиболее оптимальным способом исследования, нахождения очертаний вихревых зон (ВЗ) и разработки усовершенствованных конструкций фасонных элементов является использование программных комплексов *CFD*. При этом важным этапом является исследование влияния используемых в вычислительном комплексе настроек и моделей для получения наиболее физически адекватных результатов. Для этого нужно решить задачу как в условиях без колена («прямой» канал, $l/b = \infty$), с минимальным влиянием колена («длинный» канал, $l/b = 20$), с сильным влиянием колена («короткий» канал, $l/b = 2$).

Целью исследования является определение влияния настроек и моделей вычислительного комплекса на адекватность моделирования течения в узле, состоящем из последовательно расположенных вытяжного отверстия и колена.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- определение влияния настроек численной модели на сходимость итерационного процесса;

- валидация значений КМС и очертаний вихревых зон, получаемых при использовании разных сочетаний моделей турбулентности и пристеночных функций, средней скорости в вытяжном канале для указанных выше конструктивных вариантов – «прямой», «длинный» и «короткий» канал.

2. Материалы и методы

Рассматривается узел вентиляционной системы, состоящий из колена и вытяжного отверстия, расположенного на двух расстояниях друг от друга **EF** = 2м (l/b = 20) – «длинный» канал и **EF** = 0,2м (l/b = 2) «короткий» канал (рис. 1).

Модель и расчетная сетка строится в препроцессоре Gambit. Размеры области представлены на рисунке 1. Ширина канала b = 0,1 м. Размеры расчетной области: $\boldsymbol{L}$ = 2 м, $\boldsymbol{H}$ = 1 м, длина канала после колена $\boldsymbol{L_1}$ = 2 м, выбрана достаточной для восстановления деформации течения после колена и корректного определения КМС и очертания вихревой зоны.

Граничные условия для представленных на рисунке 1 конструкций:

– **AB** – «*velocity inlet*» - скорость постоянная и направлена по нормали к границе: v_0 = 10 и 50 м/с, k = 1, ε = 1

– **AG**, **GE**, **DC**, **CB** – «*wall*» - (непроницаемые стенки): v = 0, dv_n/dn = 0; (dn - нормаль к границе).

– **OH**, **HI**, **IK**, **KM**, **MN** – «*pressure inlet*» (свободная граница), gauge total pressure - избыточное давление Δp = 0 Па, k = 0, ε = 0

Основываясь на ранее проведенных исследованиях по вытяжным отверстиям разной конфигурации [22–24] были использованы модель турбулентности Reynolds Stress в комбинации с пристеночными функциями Standard Wall Function и Enhanced Wall Treatment. Для получения наиболее адекватных результатов необходимо в процессе решения добиться достаточного разрешения расчетной сетки, то есть исследовать задачу на сеточную зависимость.

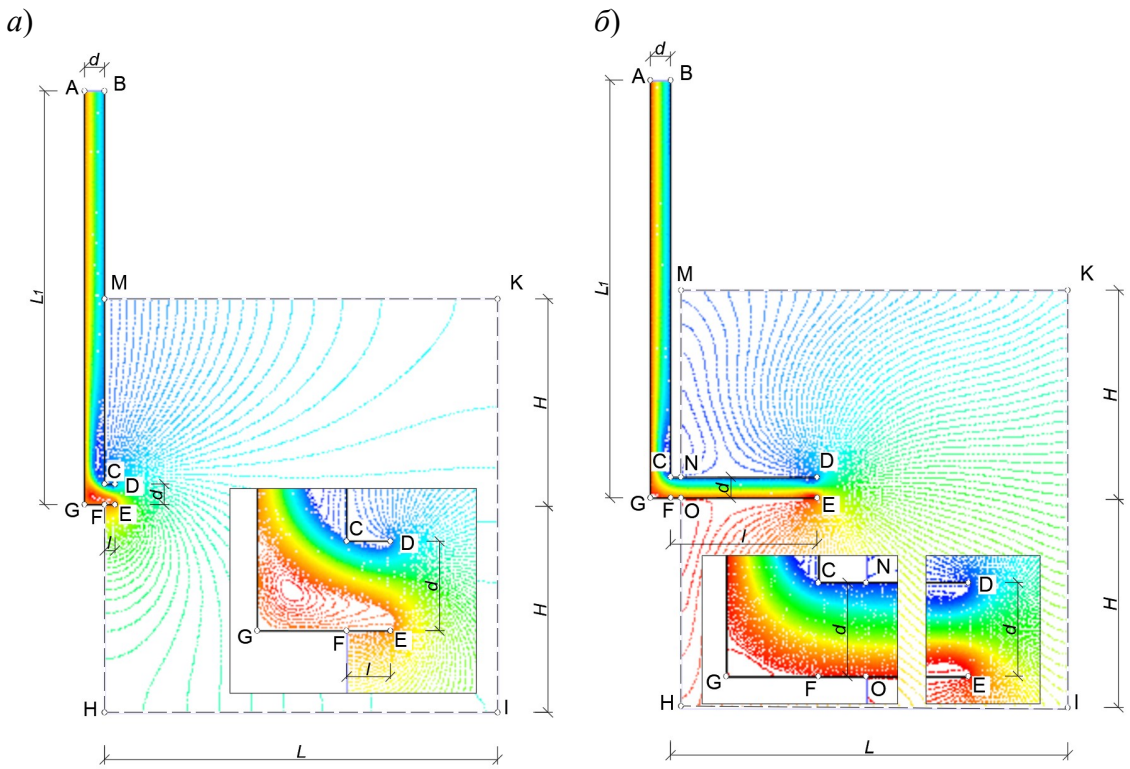


Рис. 1. Геометрия исследуемой задачи и характерные линии тока: *а*) случай «короткий» канал; *б*) случай «длинный» канал. (иллюстрация авторов)

Fig. 1 Geometry of the problem under study and characteristic flow streamlines: a) case of a "short" channel; b) case of "long" channel (illustration by the authors)

На первом этапе было выполнено измельчение сетки на всей области исследуемой геометрии. Далее область измельчения уменьшалась. Наибольшее внимание было уделено измельчению сетки в канале и вдоль его твердых стенках, поскольку в этой области происходит максимальное изменение скорости: от 0 на стенке до максимального значения в ядре струи, развиваются вихревые зоны. Стратегия адаптации расчетной сетки по этапам представлена ниже в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1

Стратегия адаптации расчетной сетки по этапам

№ адапт.	Область адаптации		Характеристики расчетной сетки		
	$(x_0; y_0)$	$(x_1; y_1)$	Размер макс. ячейки	Размер мин. ячейки	Количество ячеек
1	(0; -2)	(2; 2)	$6.25 \cdot 10^{-4}$	$6.25 \cdot 10^{-4}$	6248
2	(0; -2)	(2; 2)	$1.5625 \cdot 10^{-4}$	$1.5625 \cdot 10^{-4}$	24992
3	(0; -2)	(2; 2)	$3.90625 \cdot 10^{-5}$	$3.90625 \cdot 10^{-5}$	99968
4	(0; 0)	(0,1; 2)	$3.90625 \cdot 10^{-5}$	$9.765625 \cdot 10^{-6}$	240512
	(0,1; -0,6)	(2,4; 0,7)			
5	(0; 0)	(0,1; 2)	$3.90625 \cdot 10^{-5}$	$2.441406 \cdot 10^{-6}$	692096
	(0,1; -0,5)	(2,3; 0,6)			
6	(0; 0)	(0,1; 2)	$3.90625 \cdot 10^{-5}$	$6.103516 \cdot 10^{-7}$	2105216
	(0,1; -0,4)	(2,2; 0,5)			
7	Слой в 20 ячеек вдоль твердых границ		$3.90625 \cdot 10^{-5}$	$1.525879 \cdot 10^{-7}$	2621426
8	Слой в 10 ячеек вдоль твердых границ		$3.90625 \cdot 10^{-5}$	$3.814697 \cdot 10^{-8}$	3136361
9	Слой в 8 ячеек вдоль твердых границ		$3.90625 \cdot 10^{-5}$	$9.536743 \cdot 10^{-9}$	3753950
10	Слой в 6 ячеек вдоль твердых границ		$3.90625 \cdot 10^{-5}$	$2.384186 \cdot 10^{-9}$	4165601
11	Слой в 4 ячейки вдоль твердых границ		$3.90625 \cdot 10^{-5}$	$5.960464 \cdot 10^{-10}$	4577246

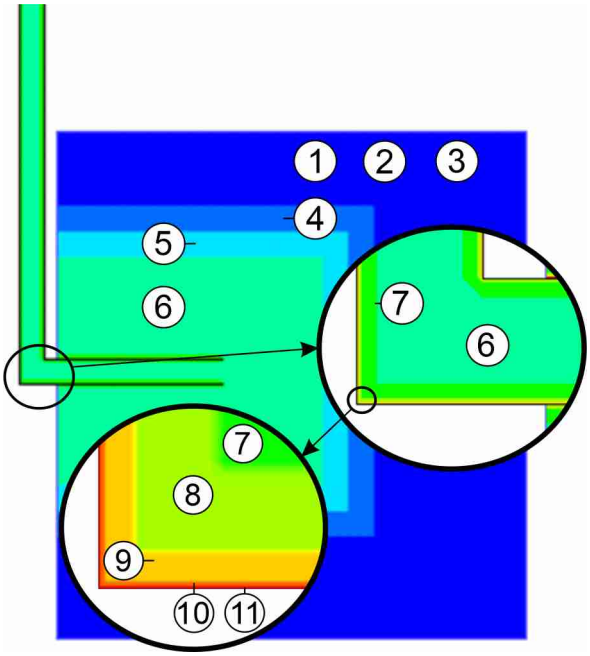


Рис. 2. Этапы адаптации расчетной сетки (иллюстрация авторов)
Fig.2 Stages of computational mesh adaptation (illustration by the authors)

3. Результаты и обсуждение

При численном моделировании в ходе итерационного процесса для численной модели – сочетание модели турбулентности *RSM* с расширенным пристеночным моделированием *EWT* (*RSM EWT*), получено расхождение невязок для «короткого» канала и сильную нестабильность (осцилляции невязок) для «длинного» канала (таблица 2). На рисунке показан график невязок (рис. 3а) и линии тока течения (рис. 3б) для случая *l*/*b*=20. Невязка по уравнению неразрывности (continuity) в данном случае не стабильна, но ее значение колеблется на достаточно низком уровне, в пределах от 10^{-6} до 10^{-4}. Причиной нестабильности является изменение потока на левой свободной границе. В отличии от других вариантов задач, где через левую границу происходит втекание воздуха, здесь присутствует как втекание воздуха, так и вытекание. Но эта нестабильная область находится на достаточно большом удалении от области вытяжного отверстия и поэтому можно предполагать несущественное влияние на исследуемый процесс втекания воздуха. Нужно отметить, что сочетание моделей *RSM EWT* даже для «длинного» канала при более низкой скорости приводит к расхождению итерационного процесса.

Таблица 2

Результаты итерационного процесса

	l/*b*=2		*l*/*b*=20	
v_0, м/с	RSM SWF	RSM EWT	RSM SWF	RSM EWT
10	сходится	расходится (на 0 адаптации)	сходится	расходится
50	сходится	расходится (на 7 адаптации)	сходится	не стабильная

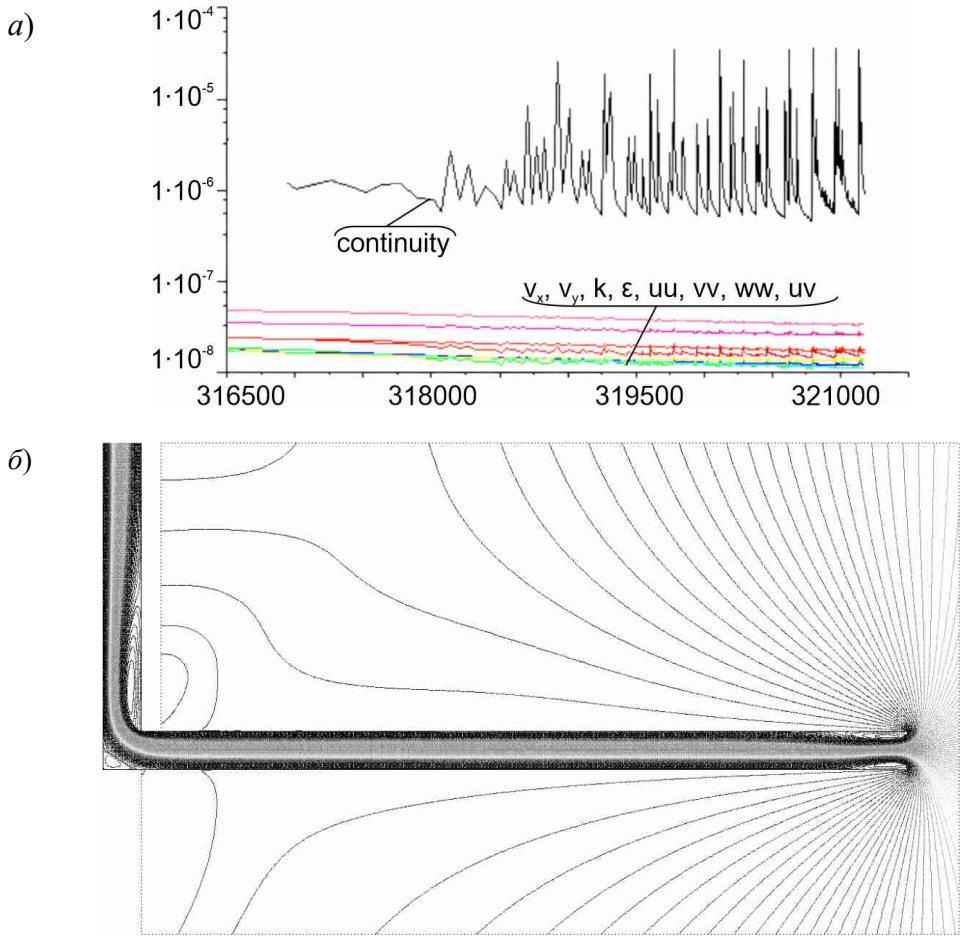


Рис.3 Иллюстрация нестабильного итерационного процесса для случая *RSM EWT*, *l*/*b*=20, v_0 = 50 м/с: *а*) невязки по уравнениям; *б*) линии тока (иллюстрация авторов)
Fig.3 Illustration of an unstable iterative process for the RSM case, *l*/*b*=20, v_0 = 50 м/с: a) discrepancies in the equations; b) flow streamlines (illustration by the authors)

Для рассмотренных вариантов определены очертания четырех образующихся вихревых зон (ВЗ) (рис.4): ВЗ 1 – вихревая зона у всасывающего отверстия у верхней кромки канала, ВЗ 2 – вихревая зона в колене при срыве с острой кромки, ВЗ 3 – вихревая зона во внутреннем углу колена, ВЗ 4 – вихревая зона у всасывающего отверстия у нижней кромки канала. Очертания вихревых зон представлены в безразмерных координатах, отнесенных к ширине вытяжного канала *b*.

В случае, когда длина канала между двумя элементами достаточно большая (*l*/*b*=20) можно предполагать, что их взаимное влияние несущественное. Очертания ВЗ для задачи *RSM EWT* и v_0 = 50 м/с, очень близки к известным данным об очертаниях ВЗ на входе в плоские вытяжные каналы без колена, найденные численно [23], а также ВЗ в одиночном колене, найденные экспериментально [25] и аналитически [26]. Это подтверждает несущественность их взаимного влияния в этом случае. Нужно отметить, что при использовании модели *RSM SWF*, дающей стабильное решение при любых скоростях, длины вихревых зон ВЗ 1 и ВЗ 4 получаются различными (разница в длинах ВЗ достигает до 100%), хотя при такой длине канала от вытяжного отверстия до колена и учитывая, что колено находится вверх по потоку, эти вихревые зоны должны быть одинаковыми. Поэтому при данных настройках сочетания моделей *RSM SWF* можно сделать вывод о неадекватности моделирования течения на входе в вытяжное отверстие и необходимости дальнейшего исследования этого сочетания. При этом очертания ВЗ 3 в этом случае, возникающей после поворота, достаточно хорошо совпадает с известными экспериментальными и теоретическими результатами.

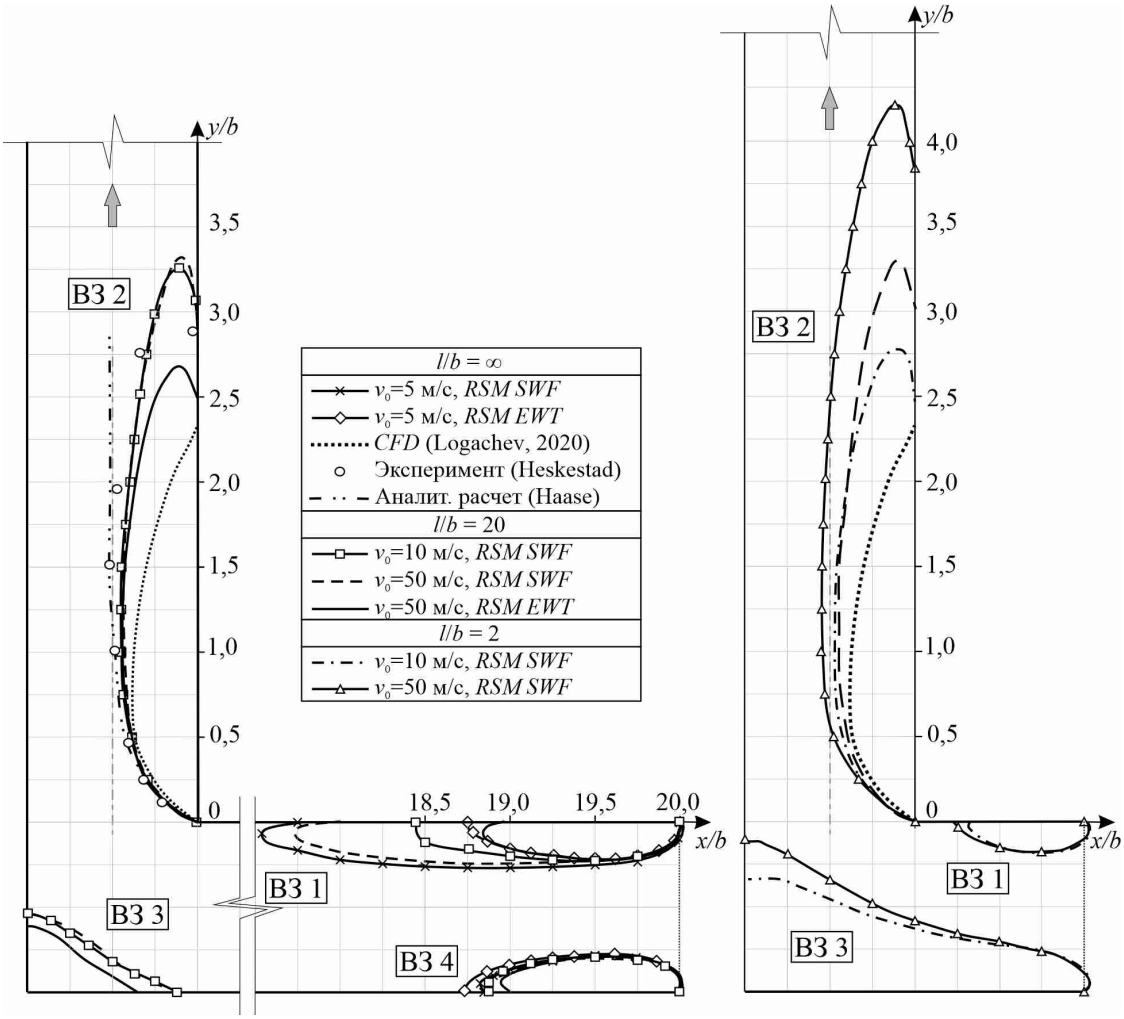


Рис. 4. Очертания вихревых зон по результатам данного исследования, численного исследования (Logachev, 2020 [23]), экспериментального (Heskestad [25]), аналитического (Haase [26]). (иллюстрация авторов)

Fig. 4 Outlines of vortex zones based on the results of this study, numerical study (Logachev, 2020 [23]), experimental study (Heskestad [25], analytical study (Haase [26]) (illustration by the authors)

Для задачи с минимальным расстоянием от вытяжного отверстия до колена (l/b=2), видно, что скорость в канале также существенно влияет на течение и формирование ВЗ 2 после поворота. Вихревые зоны ВЗ 3 и ВЗ 4 сливаются в одну.

Для определения КМС ζ была выбрана схема, предложенная в статье [8]:

$$\zeta = \frac{P_1 - P_2 - \Delta P_{тр}}{(\rho v^2 / 2)}$$

где P_1 = 0 избыточное давление в сечении DE, P_2 – давление в сечении удаленном от фасонного элемента, в области где закончилась деформация потока, $\Delta P_{тр}$ – потери давления на трение.

В таблице представлены значения КМС узла, полученные в результате численного решения (*CFD*) для рассматриваемых вариантов задач, а также известные экспериментальные значения как для отдельных элементов – вытяжного отверстия ($\zeta_{ВО}$), колена ($\zeta_К$), так и для узла ($\Sigma\zeta$), которое подсчитывалось как сумма отдельных элементов в случае «длинного» канала или как КМС всего узла – для «короткого» канала.

Известно, что КМС для вытяжного свободно расположенного отверстия равен 1, видно (табл. 3), что для случаев как «прямого», так и «длинного» каналов КМС отличается от 1 не более чем на 7,5%. Это показывает адекватность моделирования с использованием обоих сочетаний моделей. При этом значение КМС для колена заметно различается.

Таблица 3

Значения КМС для разных вариантов рассчитанных и известных ранее

Источник, варианты конструкции		$\zeta_{ВО}$	$\zeta_К$	$\Sigma\zeta$
Эксперимент [3]		1	0,79	1,79
CFD отдельные элементы [21,23]		1	1,05	2,05
$l/b = \infty$	*RSM EWT*	1,023	-	-
	RSM SWF	1,075	-	-
«длинный» канал	*CFD* l/b =20, v_0=50 м/с, *RSM EWT*	1,03	1,05	2,08
	CFD l/b =20, v_0=10 м/с, *RSM SWF*	1,06	1,48	2,54
	CFD l/b =20, v_0=50 м/с, *RSM SWF*	1,05	1,32	2,37
«короткий» канал	*CFD* l/b =2, v_0=10 м/с, *RSM SWF*	-	-	3,52
	CFD l/b =2, v_0=50 м/с, *RSM SWF*	-	-	3,5

При использовании модели *RSM EWT* результат совпадает с численным исследованием [21], а при использовании *RSM SWF* отличие составляет от 25% и 40% для разных значений скорости. Для «короткого» канала возможно определить значение только КМС узла. Видно, что значение в этом случае в 1,95 раза превышает значение суммы КМС [3]. Это еще раз показывает существенное влияние расстояния между близко расположенными фасонными элементами на общее сопротивление узла. Это необходимо учитывать при выполнении аэродинамического расчета воздуховодов систем вентиляции и кондиционирования воздуха, и показывает необходимость исследования этого влияния и нахождения зависимостей КМС от расстояния между элементами.

4. Заключение

1. Для вентиляционного узла, содержащего колено и вытяжное отверстие построен ряд численных моделей и исследованы комбинации использования модели турбулентности *RSM* и двух способов пристеночного моделирования – *SWF* и *EWT*, при разных скоростях воздуха в канале и двух экстремальных расстояниях между элементами – l/b=2 («короткий» канал) и l/b=20 («длинный» канал).
2. Найдены очертания вихревых зон – четырех для варианта «длинный» канал, трех для варианта «короткий» канал. При сравнении с известными данными об очертаниях ВЗ для отдельно расположенных вытяжного отверстия и колена, наилучшее совпадение показало сочетание *RSM EWT*, но в то же время эта модель нестабильна для конструкции с экстремально «коротким» каналом.
3. Для всех исследованных вариантов определены значения коэффициентов местных сопротивлений. Здесь также в случае «длинного» канала наилучшее соглашение с известными данными о КМС отдельного вытяжного отверстия и колена показало сочетание *RSM EWT*. Для «короткого» канала выявлено существенное отличие КМС узла от удвоенного КМС отдельных элементов, что показывает необходимость учета влияния расстояния между фасонными элементами при $l/b < 20$.

Далее необходимо продолжить исследования настроек численной модели для возможности получения стабильного итерационного процесса, а также адекватных результатов решения, с использованием которой провести исследования узла, состоящего из вытяжного отверстия и колена с целью построения зависимости КМС узла и очертаний вихревых зон в нем от расстояния входящих в него отдельных элементов.

Список литературы / References

1. LaRose A., Cogan J. Annual Energy Outlook. [Электронный ресурс]. 2019. P. 83. URL: https://www.eia.gov/pressroom/releases/press453.php.
2. Замалиева А.Т., Зиганшин М.Г. Повышение энергетической и экологической эффективности систем газоочистки на ТЭС // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. т. 330, № 9. С. 143–153. DOI: 10.18799/24131830/2019/9/2263. [Zamalieva A.T., Ziganshin M.G. Increasing the energy and environmental efficiency of gas purification systems at thermal power plants // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo-Resources Engineering.2019. v.330. №9. P. 143-153. DOI: 10.18799/24131830/2019/9/2263.]
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.:

Машиностроение, 1992. 672 с. [Idelchik, I.E. Handbook of hydraulic resistance. 3rd edition revised and enlarged. Moscow. 1992. 672 p.]
4. Зиганшин А.М., Озеров А.О., Солодова Е.Э. Численное исследование течения в П-образном отводе и снижение его сопротивления // Известия ВУЗов. Строительство. 2019. т. 721, № 1. С. 82–93. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-721-1-82-93. [Ziganshin A.M., Ozerov A.O., Solodova E.E. Numerical study of flow in a U-shaped bend and reduction of its resistance // News of higher educational institutions. Construction. 2019. V. 721, № 1. P. 82–93. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-721-1-82-93.]
5. Ziganshin A., Solodova E., Logachev K. Numerical simulation of a z-shaped ventilation elbow and reduction of its resistance // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. T. 890. P. 012146. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012146.
6. Gao R., Liu K., Li A., Fang Z., Yang Z., Cong B. Biomimetic duct tee for reducing the local resistance of a ventilation and air-conditioning system // Building and Environment. 2018. T. 129. P. 130–141. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.11.023.
7. Gao R., Fang Z., Li A., Liu K., Yang Z., Cong B. Numerical simulation and experimental study on resistance reduction optimization of the cambered surface of elbows under adjacent influence // Procedia Engineering. Elsevier B.V., 2017. T. 205. P. 3985–3992. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.09.864.
8. Kareeva J., Ziganshin A., Narsova K. Verification and Validation of Numerical Model of Flow in Supply Opening with Elbow Unit // Lecture Notes in Civil Engineering. Switzerland: Springer Nature, 2023. P. 343–352. DOI: 10.1007/978-3-031-14623-7_30.
9. Зиганшин А.М., Тихонов К.С., Кареева Ю.Р. Численное определение характеристик течения через приточную решетку, расположенную за отводом. // Материалы XXI Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика РААСН В. Н. Богословского «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». Волгоград: ВГМУ, 2023. С. 119–125. [Ziganshin A.M., Tikhonov K.S., Kareeva Yu.R. Numerical determination of flow characteristics through the supply hole located behind the elbow // Materials of the XXI International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of RAASN Academician V. N. Bogoslovsky "Indoor air and environment quality ", Volgograd: VGMU, 2023. P.119-125]
10. Zhang W., Li A. Resistance reduction via guide vane in dividing manifold systems with parallel pipe arrays (DMS-PPA) based on analysis of energy dissipation // Building and Environment. Elsevier Ltd, 2018. T. 139. P. 189–198. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.04.010.
11. Yin Y., Wen X., Zhang J., Li A. Geometric parameters optimization of low resistance T-junction with guide vanes in HVAC system // E3S Web of Conferences / под ред. Li A., Olofsson T., Kosonen R. 2022. T. 356. P. 02056. DOI: 10.1051/e3sconf/202235602056.
12. Shopayeva A., Safiullin R. CFD-modeling of flow in confluence nodes of ventilation units of multi-storey buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. T. 890. P. 012157. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012157.
13. Gao R., Liu K., Li A., Fang Z., Yang Z., Cong B. Study of the shape optimization of a tee guide vane in a ventilation and air-conditioning duct // Building and Environment. Elsevier Ltd, 2018. T. 132. P. 345–356. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.02.006.
14. Yin Y., Li A., Wen X., Zhang J., Zhang X., Guo J., Li J., Zhang W., Che J. Resistance reduction of an elbow with a guide vane based on the field synergy principle and viscous dissipation analysis // Journal of Building Engineering. 2022. T. 54. P. 104649. DOI: 10.1016/j.jobe.2022.104649.
15. Gao R., Fang Z., Li A., Liu K., Yang Z., Cong B. Numerical Simulation and Experimental Study of the Drag Reduction of 90° Elbows for Ventilation and Air Conditioning Tubes in An Arc Form // Procedia Engineering. Elsevier B.V., 2017. T. 205. P. 3978–3984. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.09.859.
16. Gao R., Zhang H., Li A., Liu K., Yu S., Deng B., Wen S., Li A., Zhang H., Du W., Deng B. A novel low-resistance duct tee emulating a river course // Building and Environment. Elsevier, 2018. T. 144, № June. P. 295–304. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.08.034.
17. Liu Y., Gao R., Zhang Z., Zhu W., Zhou L., Jing R., Zheng Q., Li A. Study on resistance

reduction in a jugular profiled bend based on entropy increase analysis and the field synergy principle // Building and Environment. 2021. T. 203. P. 108102. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108102.
18. Zhou M., Lian H., Sigmund O., Aage N. Shape morphing and topology optimization of fluid channels by explicit boundary tracking // International Journal for Numerical Methods in Fluids. 2018. T. 88, № 6. P. 296–313. DOI: 10.1002/fld.4667.
19. Dilgen C.B., Dilgen S.B., Fuhrman D.R., Sigmund O., Lazarov B.S. Topology optimization of turbulent flows // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. Elsevier B.V., 2018. T. 331. P. 363–393. DOI: 10.1016/j.cma.2017.11.029.
20. Malanichev I., Akhmadiev F. Pressure loss reduction in ventilation ducts by shape optimization of the removable profiled components // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. T. 890. P. 012154. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012154.
21. Зиганшин А.М., Беляева Е.Э., Соколов В.А. Снижение потерь давления при профилировании острого отвода и отвода с нишей // Известия ВУЗов. Строительство. 2017. т. 697, № 1. С. 108–116. [Ziganshin, A.M., Belyaeva, E.E., Sokolov, V.A. Reduced pressure loss when profiling sharp and recessed elbows // News of higher educational institutions. Construction. 2017. v.697, № 1. P. 108-116.]
22. 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 and Buildings. Elsevier B.V., 2018. T. 173, № 6. P. 58–70. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.05.036.
23. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Averkova O.A. A study of separated flows at inlets of flanged slotted hoods // Journal of Building Engineering. 2020. T. 29. P. 101159. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.101159.
24. Kareeva J., Gabdrafikov R., Chukhlova M. Selection of model for the numerical study of the convective jet problem // E3S Web of Conferences / под ред. Vdovin E. 2021. T. 274. P. 08013. DOI: 10.1051/e3sconf/202127408013.
25. Heskestad G. Two-Dimensional Miter-Bend Flow // Journal of Basic Engineering. 1971. T. 93, № 3. P. 433–443. DOI: 10.1115/1.3425271.
26. Haase D. Strömung in einem 90°-Knie // Ingenieur-Archiv. 1954. T. 22, № 4. P. 282–292. DOI: 10.1007/BF00536548.

Информация об авторах

Кареева Юлия Рустэмовна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
E-mail: kareeva@kgasu.ru
Зиганшин Арслан Маликович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
E-mail: amziganshin@kgasu.ru
Чухлова Мария Борисовна, специалист отдела ИАС НИР, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.
E-mail: mariachukhlova@gmail.com

Information about the authors

Yulia R. Kareeva, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.
E-mail: kareeva@kgasu.ru
Arslan M. Ziganshin, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: amziganshin@kgasu.ru
Mariya B. Chukhlova, specialist of department IAS of scientific research, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.
E-mail: mariachukhlova@gmail.com

Журнал «Известия КГАСУ» выходит 4 раза в год, тиражом 500 экз. Журнал является подписным изданием и включен в подписной каталог ГК «Урал - Пресс», индекс издания – 36939.

Авторы, являющиеся членами редакционной коллегии и (или) подписчиками журнала, имеют преимущественное право на опубликование своих статей.

Научные статьи в полном объеме также размещаются на официальном сайте журнала Известия КГАСУ http://izvestija.kgasu.ru. Электронное периодическое издание (ЭПИ) http://izvestija.kgasu.ru (Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС 77-31046 от 25.01.2008г.).

СТАТЬИ ПУБЛИКУЮТСЯ БЕСПЛАТНО.

Все материалы направлять по адресу:
420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1, комн. 79
Отдел Информационно-аналитического сопровождения НИР
Телефон (843) 510-46-39
Email: patent@kgasu.ru.

Известия КГАСУ
2023г., № 4(66)

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

Макет и редактирование: Чухлова М.Б.

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.

Электронное периодическое издание: http://izvestija.kgasu.ru
Регистр. Эл. № ФС 77-31046 от 25.01.2008г.

Подписной каталог ГК Урал-Пресс
Индекс издания – 36939

Распространение: свободная цена

Подп. к печати 10.11.2023 Формат 60×84/8
Заказ № 149 Бумага тип. №1
Усл.-печ. л 44,8 Уч.-изд. л. 45,9
Тираж 500 экз.
I завод – 100

Дата выхода в свет: 10.11.2023г.

Отпечатано в Издательстве КГАСУ: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1