

ISSN 2073-1523

ИЗВЕСТИЯ

Казанского
Государственного
Архитектурно-
Строительного
Университета

№ 2(60)/2022

16+



NEWS

Kazan

State

University

Architecture

Engineering

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 2022 г., № 2 (60)

ББК 38
И 33
УДК 69

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

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

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

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

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

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

MINISTRY OF 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 2022, № 2 (60)

BBC 38
I 33
UDC 69

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

EDITORIAL BOARD:

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

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

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

THE FOUNDER AND THE PUBLISHER:

FSBEI of HE «Kazan State University of Architecture and Engineering»

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

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

EDITORIAL ADDRESS:

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



СОДЕРЖАНИЕ



СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ		
Илизар Т. Мирсаяпов Оценка остаточной несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций	6	
М.А. Салахутдинов, Р.А. Каюмов, Д.Н. Арипов, А.Р. Ханеков Численное исследование несущей способности балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей	15	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ		
И. Ю. Майстренко, Т. А. Зиннуров, Т. И. Майстренко, Д. И. Ерохин, В.С. Малыгин Исследования коэрцитивной силы стальных конструкций мостовых сооружений	24	
СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА		
Р.А. Каюмов, Ф.Р. Шакирзянов, Л.Р. Гимранов, А.Р. Гимазетдинов Определение характеристик вязкоупругой модели стеклопластика по результатам изгиба труб квадратного сечения	37	
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ		
Т.М. Нуреев, А.О. Попов, Д.Т. Нуреева Методика создания трёхлучевой архитектуры материнской жилой секции	45	
Р.К. Мухитов, А.Э. Гордеева Нейроархитектура: архитектура, влияющая на чувства людей	59	
Е.С. Пономарев, Е.В. Покка, К.А. Андреева Террасированная застройка как основной фактор создания комфортного визуального восприятия архитектурной среды при освоении сложного рельефа	72	
С.Н. Смирнова Особенности архитектурного решения землебитных строений и возможности их конструктивного устройства для условий Среднего Поволжья	82	
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ		
М. Ш. Фазлеев, А. Р. Минибаева Архитектурно-пространственные и архитектурно-планировочные особенности зданий и сооружений в городских садах Казани на период второй половины XIX – начала XX вв	93	
М. Ш. Фазлеев, Р. Н. Дияров. Совершенствование туристической архитектурной среды города Чистополя Республики Татарстан на примере Толкишской мельницы с использованием метода цифрового туризма	104	
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»		116



CONTENTS



BUILDING STRUCTURES, HOUSES		
Ilizar T. Mirsayapov Evaluation of the residual load-bearing capacity of operated reinforced concrete structures		6
M.A. Salakhutdinov, R.A. Kayumov, D.N. Aripov, A.R. Khanekov Numerical study of the bearing capacity of a composite I-shaped section beam of pultruded fiberglass profiles		15
DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRANSPORT TUNNELS		
I.Y. Maistrenko, T.A. Zinnurov, T.I. Maistrenko, D.I. Erokhin, V.S. Malygin Results of a laboratory study of flat samples made of rolled steel St3sp5 with registration of coercive force values		24
CONSTRUCTION MECHANICS		
R.A. Kayumov, F.R. Shakirzyanov, L.R. Gimranov, A.R. Gimazetdinov Determination of the characteristics of a viscoelastic fiberglass model based on the results of bending square section pipes		37
ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY		
T.M. Nureyev, A.O. Popov, D.T. Nureyeva Methodology for creating the maternal residential section of a three-rayed space-planning structure		45
R.K. Mukhitov, A.E. Gordeeva Neuroarchitecture: architecture that affects people's feelings.		59
E.S. Ponomarev, E.V. Pokka, K.A. Andreeva Terraced buildings as the main factor in creating a comfortable visual perception of the architectural environment during the development of complex terrain		72
S.N. Smirnova Features of the architectural solution of earth-building structures and the possibility of their constructive arrangement for the conditions of the Middle Volga region		82
ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY. HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION		
A.R. Minibaeva, M.Sh. Fazleev Architectural-spatial and architectural-planning features of buildings and buildings in the city gardens of Kazan for the period of the second half of the 19th - early 20th centuries		93
M.Sh. Fazleev, R.N. Diiarov. Improvement the tourist architectural environment of the city of Chistopol in the Republic of Tatarstan on the example of the Tolkish mill using the digital tourism method		104
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»		116



УДК: 624.012.35

DOI: 10.52409/20731523_2022_2_6

EDN: AHRUKL

Оценка остаточной несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Илизар Талгатович Мирсаяпов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Г.Казань, Российская Федерация

Аннотация: При эксплуатации зданий и сооружений из железобетона с течением времени в конструкциях накапливаются дефекты и повреждения. Для правильного решения вопроса о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации или реконструкции зданий и сооружений необходимо уметь оценивать техническое состояние железобетонных конструкций по результатам их обследования с учетом имеющихся дефектов и повреждений. Целью исследования является на основании теоретических исследований разработать уравнения остаточной оценки прочности бетона сжатой зоны и продольной растянутой арматуры изгибаемого железобетонного элемента с дефектами и повреждениями. Задачами работы являются:

- установить схему образования трещин в эксплуатируемом изгибаемом железобетонном элементе;
- разработать уравнение остаточной прочности бетона сжатой зоны и растянутой арматуры железобетонного изгибаемого элемента с учетом влияния имеющихся дефектов;
- разработать методику расчета остаточной несущей способности эксплуатируемого изгибаемого железобетонного элемента с учетом влияния имеющихся дефектов.

Результаты. Разработана методика оценки остаточной несущей способности (ресурса) эксплуатируемых железобетонных конструкций с учетом влияния различных дефектов и повреждений, накопленных во время эксплуатации.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что они позволяют более точно и достоверно оценивать остаточную несущую способность эксплуатируемых железобетонных конструкций с учетом накопленных за время эксплуатации дефектов и повреждений.

Ключевые слова: стальная арматура, конструкция напряжений, трещина, поврежденность, пластический ресурс, удельная энергия, напряжение, ползучесть бетона, упругая работа арматуры.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т. Оценка остаточной несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2022. № 2 (60), с. 6-14, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_6, EDN: AHRUKL

Evaluation of the residual load-bearing capacity of operated reinforced concrete structures.

Ilizar T. Mirsayapov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract: During the operation of buildings and structures made of reinforced concrete, defects and damages heat up in the structures over time. In order to correctly resolve the issue of the possibility of further safe operation or reconstruction of buildings and structures, it is necessary to be able to assess the technical condition of reinforced concrete structures based on the results of their examination, taking into account existing defects and damages. The aim of the study is to develop, based on theoretical studies, the equations of the objective strength of the concrete of the compressed zone and the longitudinal stretched reinforcement of the bent reinforced concrete element with defects and damages. The objectives of the work are: to establish a scheme for the formation of cracks in the operated bent reinforced concrete element; to develop an equation of the objective strength of the concrete of the compressed zone and the stretched reinforcement of the reinforced concrete bent element, taking into account the influence of existing defects; to develop a methodology for calculating the residual load-bearing capacity of the operated bent reinforced concrete element, taking into account the influence of existing defects.

Results. A methodology has been developed for assessing the residual load-bearing capacity (resource) of operated reinforced concrete structures, taking into account the influence of various defects and damages accumulated during operation.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that they allow for a more accurate and reliable assessment of the residual load-bearing capacity of the operated reinforced concrete structures, taking into account the accumulated defects and damages during operation.

Keywords: steel reinforcement, stress structure, crack, damage, plastic resource, specific energy, stress, creep of concrete, elastic work of reinforcement.

For citation: Ilizar T. Mirsayapov Evaluation of the residual load-bearing capacity of operated reinforced concrete structures // News KSUAE, 2022. № 2(60), p.6-14 DOI:10.52409/20731523_2022_2_6, EDN: AHRUKL

1. Введение

Опыт эксплуатации зданий и сооружений из железобетона показывает, что с течением времени в конструкциях по различным причинам накапливаются дефекты и повреждения. Для правильного решения вопроса о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации или реконструкции зданий и сооружений необходимо уметь оценивать техническое состояние железобетонных конструкций по результатам их обследования с учетом имеющихся дефектов и повреждений [1-5]. При этом необходимо выделить задачу прогнозирования остаточной несущей способности конструкций без внешних признаков физического износа и задачу прогнозирования остаточной несущей способности конструкций с дефектами и повреждениями. Методология прогнозирования остаточной несущей способности конструкций с дефектами и повреждениями, в принципе, не отличается от методологии прогнозирования остаточной несущей способности конструкций без видимых дефектов и повреждений. Различие состоит только в том, что в дополнение к априорной информации о материалах, размерах, нагрузках следует использовать информацию о дефектах и повреждениях, полученную в результате обследования. Расчет остаточной прочности включает рассмотрение различных вариантов повреждений и дефектов с оценкой предельных нагрузок для каждого случая, а также при влиянии различных комбинаций [6-10]. Неоднородность

бетона и связанное с этим взаимодействие между повреждениями, вызванными нагрузкой и неупругой деформацией бетона могут оказать существенное влияние на продолжительную прочность бетона. Некоторые аспекты проблемы были исследованы с помощью 3D-анализа методом конечных элементов [11-12]. Бетон принимается как двухфазный композитный материал, состоящий из крупного заполнителя и матрицы жесткости. Определяющий закон для матрицы основан на теории микроплоскостей, в то время как заполнитель считается линейно упругим.

Для решения этих задач привлекаются методы механики разрушения и теории ползучести. В соответствии с механикой разрушения бетона в сжатой полосе разрушение изгибаемого железобетонного элемента по бетону сжатой зоны происходит после накопления микро- и макротрещин в определенном критическом объеме. Линейные размеры критического объема поврежденного материала определяются высотой сжатой зоны $x(t)$ и критической длиной условной суммарной микро- и макротрещины l_{cr} , перекрывающей участок между соседними нормальными трещинами. Следовательно, разрушение изгибаемого элемента по бетону сжатой зоны происходит после достижения условной магистральной трещиной критической длины (при условии, что уровень напряжений не снижается), а не после достижения нормальными напряжениями в каком-то сечении предела прочности.

Разрушение изгибаемого элемента по растянутой арматуре происходит не обязательно по сечению с трещиной. Причиной тому является сглаживание неравномерности напряжений в арматурном стержне по длине блока между соседними трещинами при длительном действии нагрузки [13-15]. Поэтому для прогнозирования ресурса нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов необходимо вычисление напряжений по всей длине блока между нормальными трещинами.

Целью исследования является на основании теоретических исследований разработать уравнения объективной прочности бетона сжатой зоны и продольной растянутой арматуры изгибаемого железобетонного элемента с дефектами и повреждениями. Задачами работы являются: установить схему образования трещин в эксплуатируемом изгибаемом железобетонном элементе; разработать уравнение остаточной прочности бетона сжатой зоны и растянутой арматуры железобетонного изгибаемого элемента с учетом влияния имеющихся дефектов; разработать методику расчета остаточной несущей способности эксплуатируемого изгибаемого железобетонного элемента с учетом влияния имеющихся дефектов.

2. Материалы и методы

В целях упрощения расчета эффект действия длительной нагрузки условно разделяется на две стадии. Первая стадия отражает напряженное состояние конструкции при кратковременном нагружении до заданного уровня эксплуатационной нагрузки. Определение напряжений в этой стадии производится с учетом образования нормальных трещин в растянутой зоне и неравномерности деформаций по длине элемента.

При действии нагрузки железобетонный изгибаемый элемент разбивается системой поперечных трещин на блоки, которые в зоне чистого изгиба или относительно небольших перерезывающих сил имеют прямоугольную форму. Поэтому для оценки начального напряженно-деформированного состояния железобетонный изгибаемый элемент представляется в виде системы блоков, которые разделены между собой нормальными трещинами и связаны сжатой зоной бетона и растянутой арматурой. В плоском напряженном состоянии блоки можно рассматривать как прямоугольные пластинки-диски, загруженные в сечении по контакту блоков нормальными напряжениями, по нижней грани – касательными силами, представляющими собой напряжения сцепления арматуры с бетоном растянутой зоны. Для этого арматура условно отделяется от бетона, и ее действие заменяется распределенными по нижней грани касательными напряжениями сцепления (1), которые заданы на основе экспериментальных данных, либо на основе аналитического решения задачи, о распределении сил сцепления между растянутой арматурой и бетоном. В расчетах сжатая верхняя арматура не учитывается (рис. 1).

$$\tau_{xy}(x, h_0) = \tau_{xy}^{max} \cdot \sin(x + \frac{h_0}{2}) \quad (1)$$

где τ_{xy}^{max} – максимальное касательное напряжение между арматурой и бетоном;
 x – координата рассматриваемой точки;
 h_0 – рабочая высота сечения.

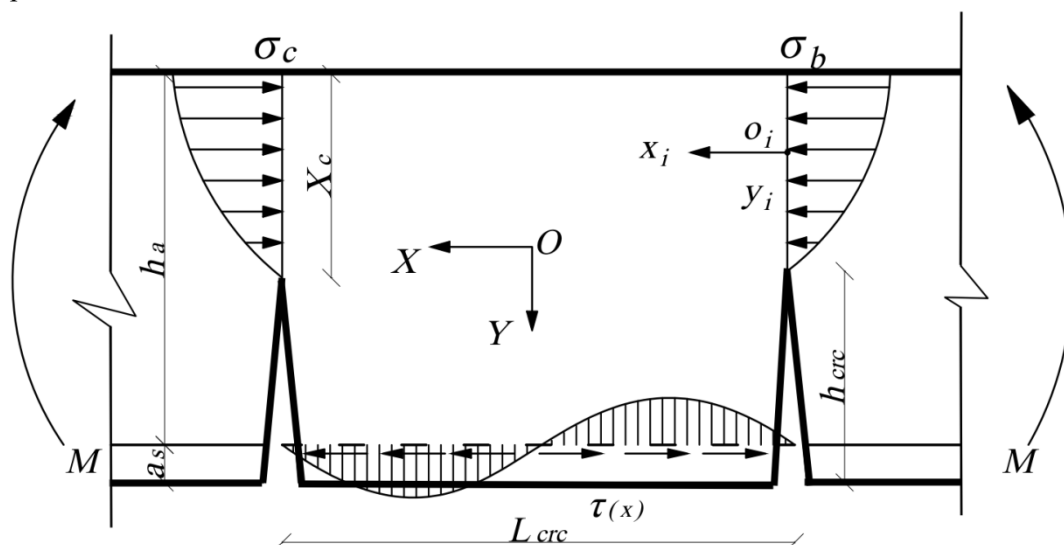


Рис.1. Схема граничных условий на контуре блока между нормальными трещинами (иллюстрация автора)

Fig. 1. Diagram of boundary conditions on the contour of the block between normal cracks (illustration by the author)

Напряжения в бетоне сжатой зоны и рабочей арматуре в сечении с трещиной определяются из условий равновесия и гипотезы плоских сечений:

- в бетоне:

$$\sigma_b(t_o) = \frac{M}{\omega \cdot b \cdot x_c (h_0 - \gamma x_c)}, \quad (2)$$

где M – изгибающий момент в рассматриваемом сечении;
 ω – коэффициент полноты эпюры напряжений в бетоне сжатой зоны;
 b – ширина сечения балки;
 x_c – высота сжатой зоны;
 h_0 – рабочая высота сечения;
 γ – безразмерная функция формы трещины.

- в арматуре:

$$\sigma_s(t_o) = \alpha \sigma_b(t_o) - \frac{1-\xi}{(1-\lambda)\xi}, \quad (3)$$

где α – соотношение модуля упругости стали к модулю упругости бетона;
 ξ – относительная высота сжатой зоны бетона;
 λ – коэффициент пластичности бетона.

После определения начальных напряжений в сечениях с трещинами вычисляются начальные напряжения внутри блока между трещинами. При этом напряжения в бетоне любого рассматриваемого блока будут зависеть от нормальных напряжений по контакту блоков (по сечению с трещиной) и касательных напряжений по нижней грани:

$$\sigma_b(t_o) = \sigma_{b1}(\xi, \eta) + \sigma_{b2}(\xi, \eta, \xi_1), \quad (4)$$

где $\sigma_{b1}(\xi, \eta)$ – нормальные напряжения в бетоне внутри блока между трещинами от действия нормальных напряжений по контакту блоков;
 $\sigma_{b2}(\xi, \eta, \xi_1)$ – нормальные напряжения в бетоне внутри блоков между трещинами от действия касательных напряжений сцепления по нижней грани;
 ξ, η, ξ_1 – коэффициенты, определяемые по формуле (5):

$$\xi = \frac{2x}{l_{crc}}; \eta = \frac{2y}{h_0}; \xi_1 = \frac{2x_i}{l_{crc}}, \quad (5)$$

где x, y – координаты рассматриваемых точек между трещинами;

l_{crc} – расстояние между нормальными трещинами;

h_0 – рабочая высота сечения;

x_i, y_i – координаты рассматриваемой точки в сечении с трещиной.

Нормальные напряжения в бетоне от действия нормальных напряжений по контакту блоков в зоне между трещинами вычисляются по формуле (6):

$$\sigma_{b1}(\xi, \eta) = y_0 \int_{-1}^1 L_{yy}(\xi, \eta, \xi_1) \cdot f(\xi_1) d\xi_1, \quad (6)$$

где $L_{yy}(\xi, \eta, \xi_1)$ – функции влияния (функции Грина) для нормальных напряжений в произвольной точке блока между трещинами $|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$ от действующей на контуре $|\xi|=1$ нагрузки;

$f(\xi_1)$ – закон изменения напряжений по сечению с трещиной.

Нормальные напряжения $\sigma_{b2}(\xi, \eta, \xi_1)$ внутри бетонного блока от сил сцепления, представляются в виде:

$$\sigma_{b2}(\xi, \eta, \xi_1) = \left\langle -\frac{2}{\pi} \frac{\gamma_{ih}^3}{y_0} \left\{ \frac{(\xi - \xi_1)^3}{[(1 - \eta)^2 + \gamma_{ih}(\xi - \xi_1)^2]^2} - \frac{(\xi + \xi_1)^3}{[(1 - \eta)^2 + \gamma_{ih}(\xi + \xi_1)^2]^2} \right\} \right\rangle f(\tau), \quad (7)$$

где $f(\tau)$ – функция распределения напряжений сцепления между бетоном и арматурой.

Напряжения в арматуре внутри зоны между трещинами вычисляются по формуле:

$$\sigma_{sm}(t_0) = \sigma_s(t_0) - \tau_s(x), \quad (8)$$

где $\tau(x)$ – напряжения сцепления между бетоном и арматурой;

$\sigma_s(t_0)$ – напряжения в арматуре в сечении с трещиной.

Распределение напряжений сцепления по длине блока между трещинами представляется в виде:

$$\tau(x) = T \cdot f(t) \quad (9)$$

где T – максимальная величина напряжений сцепления;

$f(t)$ – функция распределения напряжений сцепления между бетоном и арматурой.

Максимальная величина напряжения сцепления T может быть поставлена в зависимость от максимального фибрового напряжения в бетоне сжатой зоны блока между трещинами $\sigma_{b2}(\xi, \eta, \xi_1)$:

$$T = \theta(t) \cdot \sigma_b(\xi, \eta, \xi_1) \quad (10)$$

где $\theta(t)$ – коэффициент сцепления, представляющий собой отношение максимальной ординаты эпюры сцепления к напряжению в крайнем сжатом волокне.

После определения начальных напряжений в сечениях с трещиной, а также внутри блока между трещинами, вычисляются дополнительные напряжения.

Длительное действие нагрузки сопровождается возникновением и развитием дополнительного напряженного состояния. Если считать справедливым закон плоских сечений, то дополнительные (остаточные) напряжения в арматуре вычисляются, исходя из уравнения деформаций [2].

Функция для вычисления дополнительных напряжений в арматуре представляется в виде:

$$\sigma_s^{gon}(t) = \frac{h_0 - x}{x} E_s \int_{t_0}^t \sigma_b(t) \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{1}{E_b} + C(t, \tau) \right] dt, \quad (11)$$

где $C(t, \tau)$ – мера ползучести бетона;

$\sigma_b(t)$ – текущие напряжения в бетоне сжатой зоны;

h_0, x – то же, что и в (1).

Таким образом, как видно из (11), по мере увеличения времени нагружения в растянутой арматуре возрастают дополнительные (остаточные) напряжения пропорционально пластическим деформациям ползучести в бетоне сжатой зоны.

Остаточные растягивающие напряжения в арматуре, в свою очередь, вызывают остаточные растягивающие напряжения на верхних волокнах сжатой зоны бетона. Дополнительные растягивающие напряжения на верхних волокнах определяем, исходя из гипотезы плоских сечений и треугольной эпюры остаточных напряжений.

$$\sigma_s^{gon}(t) = \left\{ \frac{h_0 - x}{x} E_s \int_{t_0}^t \sigma_b(t) \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{1}{E_b} + C(t, \tau) \right] dt \right\} \cdot A_s \left[\frac{1}{A_{red}} - \frac{e_0(h - x_p)}{J_{red}} \right], \quad (12)$$

где $C(t, \tau)$, h_0 , x – то же, что и в (11).

Имея формулы для определения начальных (5, 8) и дополнительных (11, 12) напряжений в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре, можно составить выражения для определения текущих напряжений к любому моменту времени t . Текущие напряжения представляются в виде суммы начальных и дополнительных напряжений:

$$\sigma_b(t) = \sigma_b(t_0) + \sigma_b^{gon}(t), \quad (13)$$

$$\sigma_s(t) = \sigma_s(t_0) + \sigma_s^{gon}(t), \quad (14)$$

где $\sigma_b(t)$, $\sigma_s(t)$ – текущие напряжения в бетоне сжатой зоны и в растянутой арматуре соответственно;

$\sigma_b^{gon}(t)$, $\sigma_s^{gon}(t)$ – дополнительные напряжения в бетоне сжатой зоны и в растянутой арматуре соответственно.

После определения текущих напряжений вычисляются остаточная (объективная) прочность бетона сжатой зоны и продольной растянутой арматуры для заданного режима нагружения:

$$R_b(t, \tau) = \frac{2}{x_c} \frac{K_{IC}(t)}{\sqrt{\pi l(t, \tau) \gamma(l)}} (l_{cr} + 4l_{sh} \tan \alpha \sin \alpha), \quad (15)$$

$$R_s(t, \tau) = \frac{\sigma_c K_{ICs}(t)}{\sqrt{[\gamma_l(l) \sigma_c]^2 l_I(t, \tau) + K_{fcs}^2(t)}}, \quad (16)$$

где $K_{IC}(t)$ – коэффициент интенсивности напряжений в бетоне сжатой зоны;

$K_{ICs}(t)$ – коэффициент интенсивности напряжений в арматуре;

$l(t, \tau)$ – длина трещины;

α – угол наклона уплотненной пирамиды;

$l_I(t, \tau)$ – длина трещины в арматуре;

l_{sh} – длина зоны сдвига;

γ , ξ , λ – то же, что и в (2), (3).

Затем вычисляется остаточная несущая способность по нормальному сечению:

$$M_{ocm}(t) = \frac{R_b(t, \tau) \xi [(1 + \lambda) - 0,33 \xi (\lambda^2 + \lambda + 1)] b h_0^2}{2}, \quad (17)$$

$$M_{ocm}(t) = R_s(t, \tau) A_s h_0 \left[1 - \frac{0,33 \xi (\lambda^2 + \lambda + 1)}{\lambda + 1} \right], \quad (18)$$

где $R_b(t, \tau)$ – остаточная прочность бетона сжатой зоны;

$R_s(t, \tau)$ – остаточная прочность арматуры;

h_0 , λ , ξ – то же, что и в (2), (3).

Рассмотрим влияние наиболее часто встречающихся дефектов на остаточную несущую способность изгибаемого элемента по нормальному сечению.

Для учета влияния состояния сцепления арматуры с бетоном на остаточную прочность нормального сечения используется решение задачи о напряженном состоянии бесконечной полосы под действием самоуравновешивающейся системы из двух единичных сосредоточенных сил, касательно приложенных по краю полосы [4]. Влияние различных вариантов нарушения сцепления арматуры с бетоном на величину напряжений в бетоне сжатой зоны, в растянутой арматуре и остаточной несущей способности учитывается корректировочными функциями K_i . При этом исходят из того, что локальное нарушение сцепления арматуры с бетоном изменяет эпюру касательных усилий и, как следствие, меняются площади зон влияния касательных напряжений

сцепления при неизменном значении общей площади эпюры касательных усилий $0,5\tau_{cr}l_{cr}$. Выражение для корректировочных функций влияния имеют вид [2]:

$$K_1(\tau) = K_3(\tau) = \frac{h_{1i}(0,25l_{cr}-x_{li})-m}{\tau_{cr}l_{cr}}, \quad (19)$$

$$K_2(\tau) = \frac{[(h_{1i}+H)+(h_{2i}+H_1)]m}{\tau_{cr}l_{cr}}, \quad (20)$$

$$h_{1i} = h_{2i} = \frac{H[(0,25l_{cr}-x_{li})-m]}{0,25l_{cr}-x_{li}}, \quad (21)$$

$$H = \frac{\tau_{cr}}{0,5l_{cr}-x_{li}}, \quad (22)$$

где x_{li} – длина участка нарушения сцепления арматуры с бетоном;

A – величина сосредоточенной силы, приложенной в середине блока между трещинами;

h_{1i}, h_{2i} – функции влияния единичных сосредоточенных сил;

m – коэффициент влияния.

Если на каких-то рассматриваемых участках нет нарушения сцепления арматуры с бетоном, то при вычислении соответствующих функций влияния принимается $x_{li}=0$.

Напряжения в бетоне сжатой зоны внутри блока между нормальными трещинами от действия сил сцепления арматуры с бетоном, при наличии участков с нарушенным сцеплением, вычисляются по формуле:

$$\sigma_{b2}(\xi, \eta, \xi_1) = \langle \sum_1^n K_i \frac{2P_i}{\pi} \cdot \frac{\gamma_{lh}}{\gamma_0} \left\{ \frac{(\xi-\xi_1)^3}{[(1-\eta)^2+\gamma_{lh}(\xi-\xi_1)^2]^2} - \frac{(\xi+\xi_1)^3}{[(1-\eta)^2+\gamma_{lh}(\xi+\xi_1)^2]^2} \right\} \rangle, \quad (23)$$

где K_i – корректировочные функции влияния;

γ_{lh} – коэффициенты влияния единичных касательных напряжений.

Нормальные напряжения $\sigma_{b1}(\xi, \eta)$ вычисляются по формуле (4).

Напряжения в растянутой арматуре с учетом локальных нарушений сцепления вычисляются по формуле:

$$\sigma_s(t) = \sigma_s(t_0) - \tau_s f_\phi(\tau), \quad (24)$$

где $f_\phi(\tau)$ – фактический закон распределения касательных напряжений сцепления.

В дальнейшем оценка остаточной несущей способности производится аналогично вышеизложенному по (15, 16, 17, 18).

Наиболее характерными дефектами в бетоне сжатой зоны могут быть горизонтальные трещины и локальные разрушения вследствие механических повреждений.

Рассмотрим влияние этих факторов на напряженно-деформированное состояние и на изменение остаточной несущей способности изгибаемых элементов по нормальному сечению.

3. Результаты и обсуждение

Образование горизонтальных трещин в бетоне сжатой зоны свидетельствует о начале процесса снижения несущей способности конструкции по бетону сжатой зоны.

Количественная оценка влияния дефекта на остаточную несущую способность производится в следующей последовательности:

– в зависимости от длины горизонтальной трещины вычисляется остаточная прочность бетона сжатой зоны (15);

– вычисляется остаточная несущая способность изгибаемого элемента по бетону сжатой зоны (17).

Локальные разрушения бетона сжатой зоны вследствие механических повреждений приводят к увеличению нормальных напряжений в бетоне, что в зависимости от размеров участка повреждения и уровня нагрузки уменьшают остаточную прочность бетона, и, как следствие, остаточную прочность конструкции в целом. Количественная оценка влияния этих повреждений на остаточную прочность конструкции производится в следующей последовательности:

– в зависимости от размеров локальных разрушений и их местоположения по формулам (6) и (7) вычисляются нормальные напряжения в бетоне внутри блока между трещинами от действия нормальных напряжений по контакту блоков – $\sigma_{b1}(\xi, \eta)$ и

нормальные напряжения в бетоне внутри блока между трещинами от действия касательных напряжений сцепления по нижней грани – $\sigma_{b2}(\xi, \eta, \xi_1)$, а также суммарные напряжения (5);

- вычисляются напряжения в арматуре внутри блока между трещинами (8);
- в зависимости от величины $\sigma_b(t)$ и размера локального разрушения определяется суммарная длина условных макро- и микротрещин $l(t, \tau)$;
- по формуле (15) вычисляется остаточная прочность бетона;
- по формулам (17) и (18) вычисляется остаточная несущая способность железобетонного изгибаемого элемента.

Сопоставление результатов расчетов с результатами имеющихся экспериментальных методик показало, что использование данного метода позволяет экономить бетон и арматуру до 30%.

4. Заключение

Выполненные теоретические исследования эксплуатируемых изгибаемых железобетонных элементов позволили разработать методику оценки остаточной несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций с учетом влияния различных дефектов и повреждений и позволили установить следующие основные закономерности разрушения эксплуатируемого железобетонного элементами с дефектами и повреждениями:

1. Установлена схема образования трещин в эксплуатируемом изгибаемом железобетонном элементе. Основными дефектами и повреждениями, влияющими на остаточную несущую способность эксплуатируемых железобетонных конструкций является образование и развитие горизонтальных микро- и макротрещин в бетоне сжатой зоны и нарушение сцепления между бетоном и растянутой рабочей арматурой.

2. Разработана новая теория, описывающая развитие горизонтальных микро- и макротрещин в бетоне сжатой зоны при длительной эксплуатации железобетонных конструкций.

3. Впервые разработано уравнение остаточной прочности бетона сжатой зоны и растянутой арматуры железобетонного изгибаемого элемента с учетом влияния имеющихся дефектов.

4. Получены аналитические уравнения изменения основных силовых параметров, характеризующих сопротивление бетона сжатой зоны с дефектами и повреждениями и арматуры при нарушении сцепления с окружающим бетоном.

5. Разработана методика расчета остаточной несущей способности эксплуатируемого изгибаемого железобетонного элемента с учетом влияния имеющихся дефектов, позволяющая достоверно оценивать остаточную несущую способность эксплуатируемых железобетонных конструкций с учетом накопленных за время эксплуатации дефектов и повреждений.

Список литературы / References

1. Atutis E., Valivonis J., Atutis M. Deflection determination method for bfrp prestressed concrete beams under fatigue loading // Compos. Struct. 2019. № 226. P. 111182. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111182.
2. Kim G., Loreto G., Kim J.-Y., Kurtis K. E., Wall J. J., Jacobs L. J. In situ nonlinear ultrasonic technique for monitoring microcracking in concrete subjected to creep and cyclic loading // Ultrasonics. 2018. №88. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ultras.2018.03.006.
3. Li Q., Liu M., Lu Z., Deng X. Creep Model of High-Strength High-Performance Concrete Under Cyclic Loading // J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed. 2019. №3 (34). P. 622–629. DOI: 10.1007/s11595-019-2096-9.
4. Chen P., Zhou X., Zheng W., Wang Y., Bao B. Influence of high sustained loads and longitudinal reinforcement on long-term deformation of reinforced concrete beams // J. Build. Eng. 2020. № 30. DOI: 10.1016/j.jobbe.2020.101241.
5. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of creep behavior of FRP-externally strengthened reinforced concrete beams // Eng. Struct. 2020. №204. P. 109908. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109908.

6. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the heat monitoring method // *Mech. Solids*. 2010. №1(45). P.133–139. DOI: 10.3103/S0025654410010164.
7. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 2019. №1(13). DOI: 10.1186/s40069-019-0340-5.
8. Zamaliev F. S., Zakirov M. A. Stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab under long-term // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. P. 12–23.
9. Tang H., Chen Z., Avinesh O., Guo H., Meng Z., Engler-Pinto C., Kang H. Notch Insensitivity in Fatigue Failure of Chopped Carbon Fiber Chip-Reinforced Composites Using Experimental and Computational Analysis // *Compos. Struct.* 2020. №10(16). P. 112280. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112280.
10. Choe G., Shinohara Y., Kim G., Lee S., Lee E., Nam J. Concrete corrosion cracking and transverse bar strain behavior in a reinforced concrete column under simulated marine conditions // *Appl. Sci.* 2020. №5(10). DOI:10.3390/app10051794.
11. Gambarelli S., Ožbolt J. Interaction between damage and time-dependent deformation of mortar in concrete: 3D FE study at meso-scale // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019. № 615. P. 012013. DOI:10.1088/1757-899X/615/1/012013.
12. Augéard E., Ferrier E., Michel L. Mechanical behavior of timber-concrete composite members under cyclic loading and creep // *Eng. Struct.* 2020. №210. P. 110289. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110289.
13. Trekin N. N., Kodysh E. N., Mamin A. N., Trekin D. N., Onana J. Improving methods of evaluating the crack resistance of concrete structures // *American Concrete Institute, ACI Special Publication*. 2018. № 326. P. 93.1–93.6.
14. Liang J., Nie X., Masud M., Li J., Mo Y. L. A study on the simulation method for fatigue damage behavior of reinforced concrete structures // *Eng. Struct.* 2017. № 150, P. 25–38. DOI:10.1016/j.engstruct.2017.07.001
15. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2018. P. 1-5.

Информация об авторах.

Илизар Талгатович Мирсаяпов, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: mirsayapov1@mail.ru

Information about the authors.

Ilizar T. Mirsayapov, Doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

УДК: 624.011.78

DOI: 10.52409/20731523_2022_2_15

EDN: BHRXOY



Численное исследование несущей способности балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей

М.А.Салахутдинов¹, Р.А.Каюмов¹, Д.Н.Арипов¹, А.Р. Ханеков¹,

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: Ограниченность номенклатуры пултрузионных профилей сплошного сечения не позволяет применять их в качестве балок при относительно больших пролетах по сравнению с составным сечением. Целью исследования является определение несущей способности балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей методом компьютерного моделирования. Основные задачи исследования заключаются в разработке конечно-элементной модели и анализе напряжённо-деформированного состояния конструкции с учетом реальных физико-механических характеристик пултрузионных стеклопластиковых профилей. Разработано новое конструктивное решение балки составного двутаврового сечения из пултрузионных профилей пролетом 6 м. Выполнено компьютерное моделирование композитного материала (пултрузионного стеклопластика) и разработанного конструктивного решения балки составного двутаврового сечения из пултрузионных профилей на программном комплексе, реализующем метод конечных элементов. Исследована действительная работа и несущая способность балки составного двутаврового сечения из пултрузионных профилей.*

Значимость полученных результатов заключается в определении действительной работы и предельной несущей способности балки составного двутаврового сечения из пултрузионных профилей при трехточечном изгибе методом компьютерного моделирования, возможности дальнейшего натурного изучения и последующего внедрения в строительство.

Ключевые слова: пултрузия, стеклопластиковый профиль, несущая способность, балка составного сечения, изгиб балки, компьютерное моделирование.

Для цитирования: М.А. Салахутдинов, Р.А. Каюмов, Д.Н. Арипов, А.Р. Ханеков. Численное исследование несущей способности балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей//Известия КГАСУ 2022 № 2(60).С.15-23, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_15 EDN: BHRXOY

Numerical study of the bearing capacity of a composite I-shaped section beam of pultruded fiberglass profiles

M.A. Salakhutdinov¹, R.A. Kayumov¹, D.N. Aripov¹, A.R. Khanekov¹,

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract. The purpose of the study is to determine the bearing capacity of a beam of a composite I-shaped section of pultruded fiberglass profiles by computer modeling.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке АНРТ. Грант № 04-30-юГ и Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета

A new structural concept for a composite I-shaped section beam made of pultruded fiberglass profiles is being developed. Computer modeling of a composite material pultruded fiberglass and developed structural concept for a composite I-shaped section beam made of pultruded fiberglass profiles are performed on a software package that implements the finite element method. The actual work and bearing capacity of a composite I-shaped section beam made of pultruded fiberglass profiles are investigated. The main objectives of the study are the development of a finite element model and the results of the analysis of the stress-strain state of the structure, taking into account the real physical and mechanical characteristics of the pultruded fiberglass profiles.

The significance of the obtained results lies in the determination of the actual work and the ultimate bearing capacity of a composite I-shaped section beam made of the pultruded fiberglass profiles with a three-point bending of a beam with a composite I-shaped section made of the pultruded fiberglass profiles by computer modeling, for further field study and subsequent implementation of the composite I-shaped section beam in construction.

Keywords: pultrusion, fiberglass profile, bearing capacity, composite section beam, beam bending, computer modeling.

For citation: M.A. Salakhutdinov, R.A. Kayumov, D.N. Aripov, A.R. Khanekov. Numerical study of the bearing capacity of a composite I-shaped section beam of pultruded fiberglass profiles//News KSUAE 2022 № 2(60). p.15-23 DOI: 10.52409/20731523_2022_2_15 EDN: BHRXOY

1. Введение

Пултрузионный стеклопластик обладает рядом преимуществ по сравнению с другими материалами: низкий удельный вес, высокая прочность, коррозионная стойкость и быстрый монтаж. Применение полимеров, армированных волокнами (ПАВ) [1], в несущих конструкциях на сегодняшний день практикуется и подкрепляется теоретическими исследованиями. ПАВ широко используется для усиления существующих конструкций, изготовленных из традиционных материалов, но еще не получили широкого применения при строительстве новых зданий и сооружений, так как хрупко-упругое поведение требует применения повышенных мер предосторожности [2]. Основной проблемой, сдерживающей широкое внедрение пултрузионных стеклопластиковых профилей, является отсутствие полноценной нормативно-технической базы документации.

Известно, что ферменные и рамные конструкции из пултрузионных стеклопластиковых профилей проектируются уже более 30 лет [3]. Наиболее широкое применение пултрузионных стеклопластиковых профилей нашлось в пешеходных мостах [4], временных каркасных сооружениях [5], независимых легких конструкциях существующих зданий [6], особенно, в условиях агрессивной среды. Анализ существующих рекомендаций по расчету и конструированию данных профилей показывает, что одной из проблем при разработке конструкций из стеклопластика является обеспечение требуемой прочности и деформативности [7,10]. При этом прочность и деформативность конструкции из пултрузионных стеклопластиковых профилей зависит от решения узловых соединений, которые выполняются преимущественно болтами [8]. Предлагается новое конструктивное решение, выполняется моделирование балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей с определением несущей способности на программном комплексе, реализующем метод конечных элементов (МКЭ). Целью исследования является определение несущей способности балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей.

Для достижения цели необходимо:

- Разработать новое конструктивное решение балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей, пояса которой выполнены из парных уголков, соединенных листовыми фасонками.
- Выполнить компьютерное моделирование балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей. Разработать конечно-элементную

расчетную модель с учетом физико-механических характеристик и направления волокон композитного материала.

- На основе численных исследований получить результаты расчета напряженно-деформированного состояния балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей на трехточечный изгиб, что позволяет в дальнейшем продолжить исследование работы балки при равномерно распределенной нагрузке.

2. Материалы и методы

Разрабатывается балка составного двутаврового сечения из пултрузионных профилей пролетом 6 м и высотой 0.5 м. Верхняя и нижняя полка выполнены из парных пултрузионных стеклопластиковых уголков сечением 105х13 мм, стенка выполнена из пултрузионных стеклопластиковых листов (фасонки) крайние фасонки сечением 500х400х10 мм, средние фасонки сечением 500х200х10 мм, установленные с шагом 230 мм. Элементы полок и фасонки соединены между собой болтами М16 без контролируемого натяжения, установленными с шагом 100 мм (рис. 1). Все характеристики приняты для профилей производства ООО «Татнефть-Пресскомозит» [9].

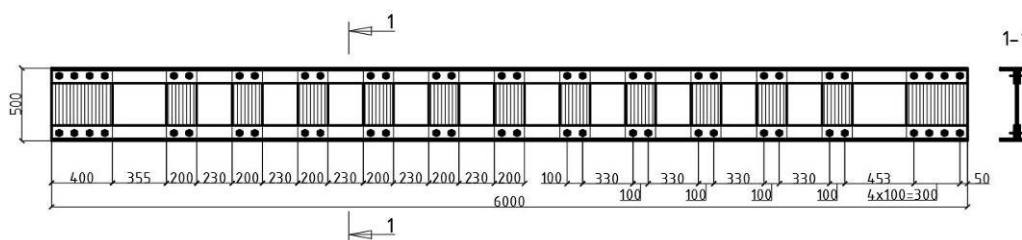


Рис.1: Конструктивное решение балки составного двутаврового сечения.

Fig.1: Structural solution of composite I-section beam made.

Численные исследования выполнены с учетом реальных физико-механических характеристик [10] на современном сертифицированном программном комплексе (ПК) «Ansys». Моделирование балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей состоит из 6 этапов:

1. «Engineering Data» позволяет задать материалы и реальные физико-механические характеристики элементов балки составного двутаврового сечения.

2. «Beam 2.1» выполняется для создания геометрии верхней и нижней полки вместе с болтами М16.

3. «Beam 2.2» выполняется для создания геометрии плоскости, стенки балки составного двутаврового сечения.

4. «Mechanical model» к этому этапу линиями связи присоединяются этапы «Engineering Data» и «Beam 2.1». Для того чтобы задать контакты между элементами в геометрии «Beam 2.1» (рис 2а), а также через функцию «Mesh» создается сетка для получения в дальнейшем более точных результатов в элементах.

5. «ACP Pre» к этому этапу линиями связи присоединяются «Engineering Data» и «Beam 2.2». На данном этапе задается направление пултрузии и толщина стенки.

6. «Static Structural» на этом этапе создается конечно-элементная модель балки составного двутаврового сечения, линиями связи присоединяются «Mechanical model» и «ACP Pre». Таким методом они сшиваются в одну модель, на конечном этапе создаются контакты между стенкой, верхней полкой, нижней полкой и болтами. Назначается узловая нагрузка F (кН). Закрепления по краям балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей выполнены жесткими по всем направлениям оси координат (рис. 2б).

Перед выполнением расчета конструкции добавляются функции «Total Deformation» для получения результатов по прогибу, функция «Composite Failure Tool» для просмотра коэффициента использования в стенке балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей.

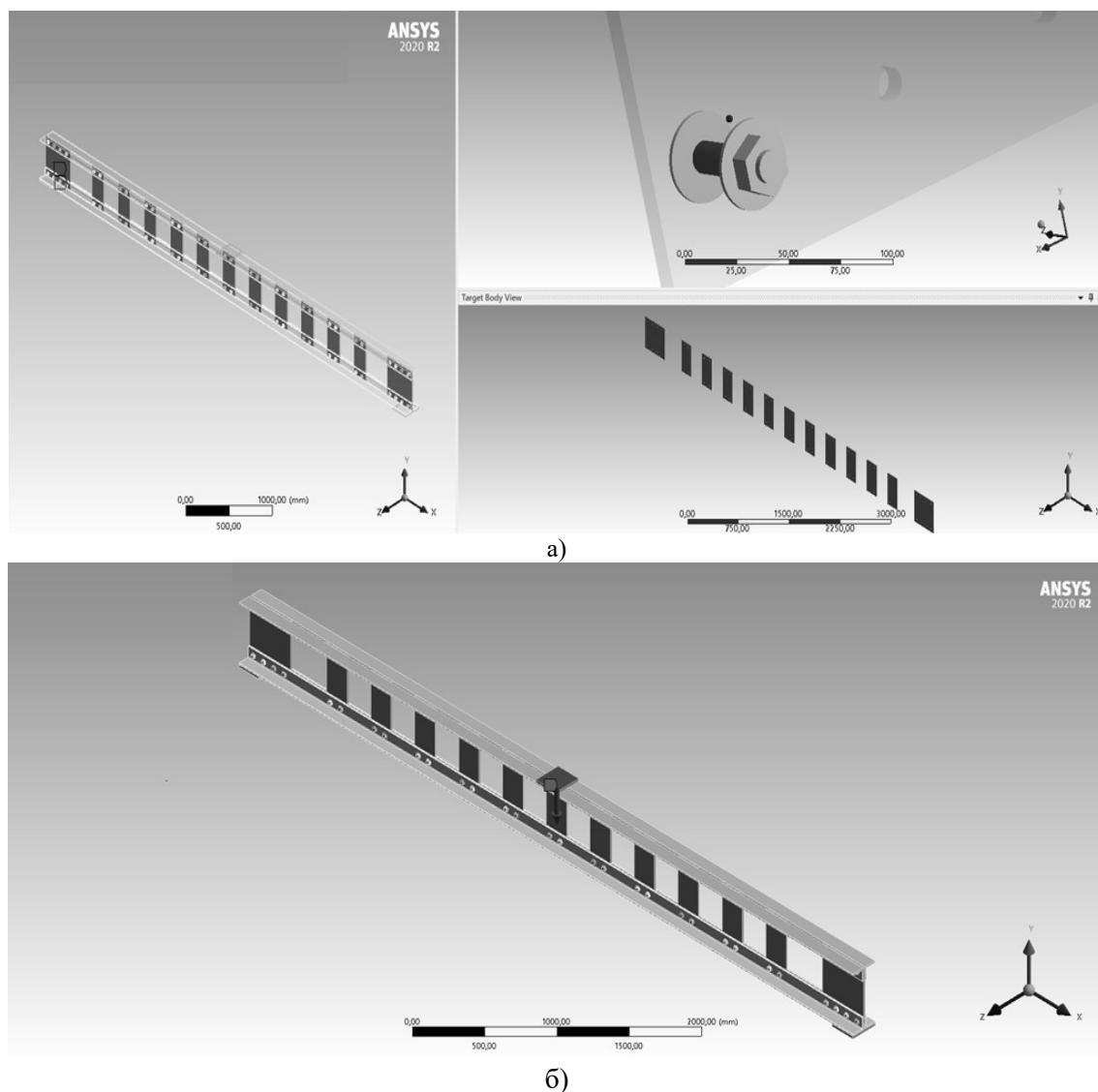
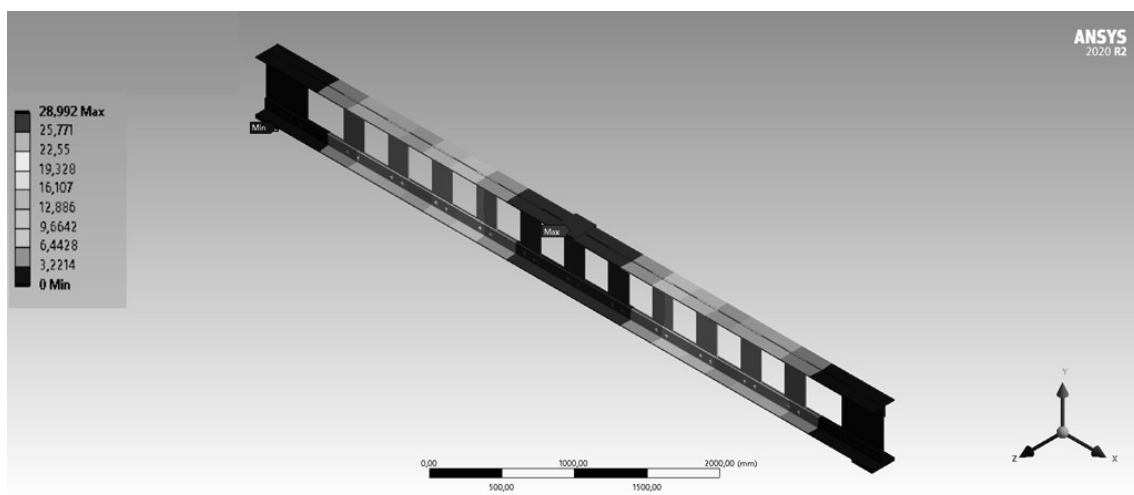


Рис.2: а) создание контактов между стеклопластиковым уголком и болтом М16, б) расчетная конечно-элементная модель

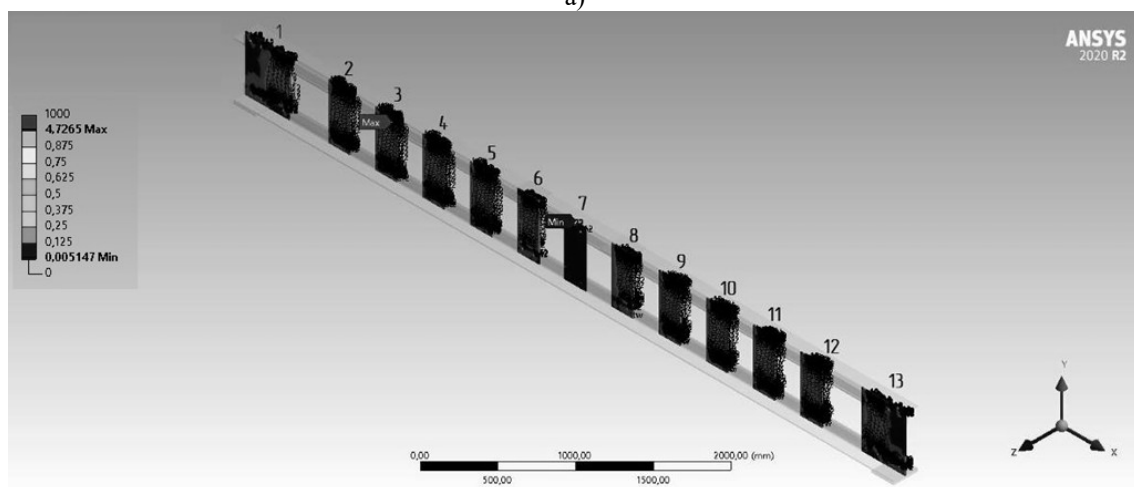
Fig.2: a) creation of contacts between fiberglass angle and M16 bolt, b) design finite element model.

3. Результаты

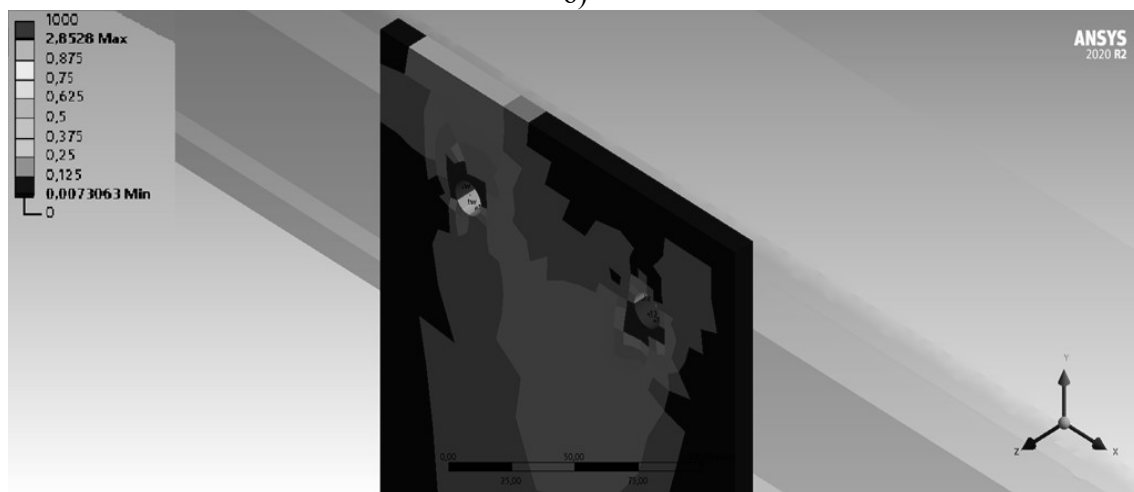
В программном комплексе «Ansys» получены значения прогибов (рис. 3а) и коэффициенты использования стенки балки (рис.3б). Предельно допустимый прогиб 30мм достигается при сосредоточенной нагрузке $F=19,52$ кН в середине пролета балки. Коэффициент использования ($K_{исп}$) листовых фасонки в стенке балки при расположении волокон 90° при нагрузке $F=19,52$ кН составляет в т.1=2,35, т.2=2,68 (рис.3г), при нагрузке $F= 44.14$ кН составляет в т.1 = 5,58 и в т.2=6,19, соответственно, что показывает наличие концентраторов напряжений в данных точках (рис.3в). При этом деформации отверстий болтового соединения составили в т.1= 0,33 мм, в т.2= 0,35 мм (рис.3д).



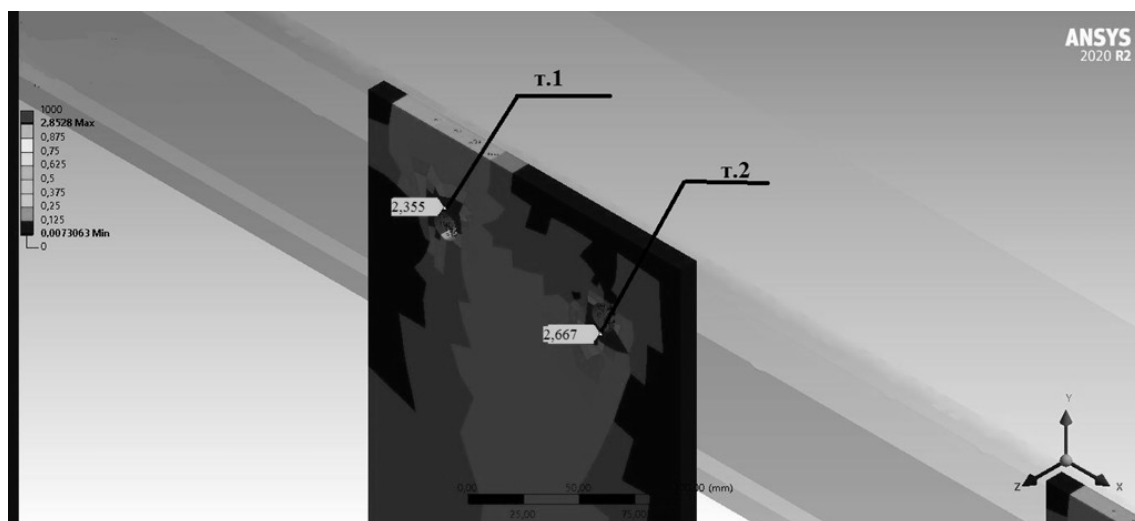
а)



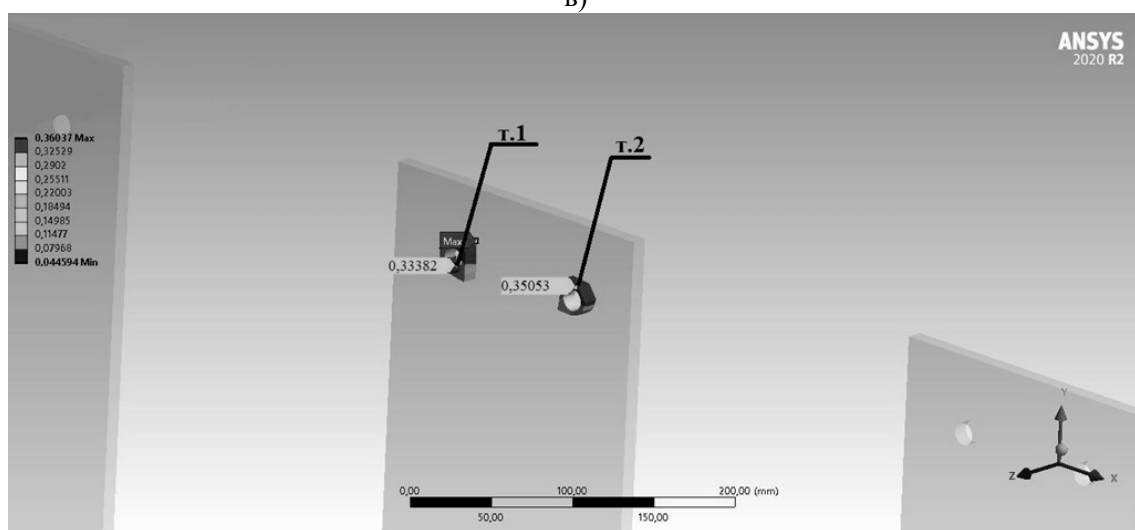
б)



г)



в)



д)

Рис.3: а) прогиб балки составного двутаврового сечения при трехточечном изгибе, б) общая схема изменения коэффициента использования листовых фасонок балки составного двутаврового сечения, в) коэффициент использования при нагрузке $F=19.52$ кН, г) фрагмент балки в узловом соединении, д) деформация отверстия стенки балки при нагрузке $F=19.52$ кН.

Fig.3: a) deflection of beam I-section at point bending, b) general diagram of the coefficient of use sheet girders of composite I-section, c) load utilization factor $F=19.52$ kN, d) beam fragment in nodal connection, e) deformation of the beam wall hole under load $F=19.52$ kN.

По результатам выполненных численных исследований составлены графики зависимости прогибов балки (рис.4а) и деформаций болтового соединения (рис.4б) от действующей нагрузки.

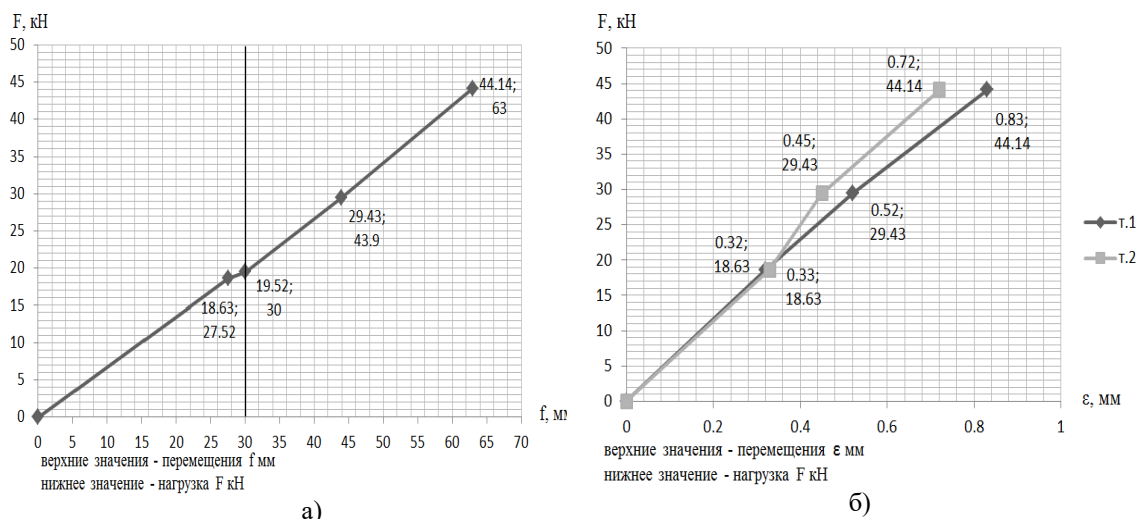


Рис.4: а) прогиб балки, в) деформации болтового соединения в балке.

Fig.4: a) beam deflection, b) bolt joint deformations in beam.

4. Обсуждения

Не смотря на отсутствие полноценной нормативно-технической базы по расчету конструкций из пултрузионных стеклопластиковых профилей, разработанная в программном комплексе «Ansys» конечно-элементная модель балки составного сечения позволяет достоверно определять ее напряженно-деформированное состояние и несущую способность. По результатам численных исследований установлено, что несущая способность разработанной балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей обеспечена, тем самым подтверждается возможность ее дальнейшего экспериментального исследования и внедрения в строительство.

Известна работа [2], в которой моделировалось в программном комплексе «Ansys» соединение пултрузионной балки сплошного сечения с колонной. По результатам численных исследований в данной работе определена несущая способность узлового соединения и получены критерии разрушения пултрузионных профилей, не учитывающие направленность волокон. В тоже время, в разработанной конечно-элементной модели балки составного сечения применяется критерий разрушения Цая Ву, который учитывает направленность волокон и позволяет выявлять резервы несущей способности композиционного материала.

5. Заключение

На основании численных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработано новое конструктивное решение балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей, пояса которой выполнены из парных уголков, соединенных листовыми фасонками.
2. Выполнено компьютерное моделирование балки составного двутаврового сечения. Разработана конечно-элементная расчетная модель балки с учетом физико-механических характеристик и направления волокон композитного материала.
3. На основе численных исследований получены результаты расчета напряженно-деформированного состояния балки составного двутаврового сечения на трехточечный изгиб, что позволяет в дальнейшем продолжить исследование ее работы при равномерно распределенной нагрузке.

Список библиографических ссылок/ References

1. Сулейманов А.М. Эффективные композиционные материалы строительного назначения: сб. ст. «Полимерные композиционные материалы нового поколения для гражданских отраслей промышленности» // ВИАМ. 2015, Москва С.184-195. [Sulejmanov A.M. Effektivnye kompozicionnye materialy stroitel'nogo naznacheniya: sb. st. «Polimernye kompozicionnye materialy novogo pokoleniya dlya grazhdanskih otraslej promyshlennosti» // VIAM. 2015, Moskva S.184-195]

2. Feroldi F., Russo S. Structural behavior of All-FRP beam-column Plate Bolted joints // J.Compos. Constr., 20 4, 2016. Number: 04016004, DOI: 10.1061 / (ASCE) CC. 1943-5614. 0000667.
3. Mutsuyoshi, H., Nguyen, H., Zatar, W. and Ishihama, T., Rexural behavior of pultruded hybrid fiber-reinforced polymer I-beam with bonded-and-bolted splice joints. Transportation research method, 2592, 2016, 45-55. DOI: 10.3141/2592-06.
4. Sebastian W.M., Ross J., Keller T., Luke S. Load response due to local and global indeterminacies of FRP-deck bridges // Composites Part B: Engineering. 2012. Vol. 43. No. 4. P. 1727–1738.
5. Adilardi A., Russo S. Innovative design approach to a GFRP pedestrian bridge: Structural aspects, engineering optimization and maintenance. Proc., 15th Int. Conf. on Bridge Maintenance, Safety and Management. CRC Press / Balkema, Taylor and Francis Group, Leiden, Netherlands, 2010. P. 2455–2459.
6. Martins, D., Proenca, M., Correia, JR, Gonilha, J., Arruda, M. and Silvestre, N. Development of a novel beam to column connection system for pultruded GFRP tubular profiles. Composite Structures, 171, 2017, 263-276. DOI: 10.1016/j.compstruct. 2017.03.049
7. Satasivam, S, Feng, P., Bai, Y. and Caprani, C. Composite actions within steel-FRP composite beam systems with novel blind bolt shear connections. Engineering structures, 138, 63-73. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.01.068.
8. Feroldi F., Russo S. Mechanical performance of pultruded FRP plates in beam to beam connections // J. of Composites for Construction, 21 4, 2017. Number: 04017004 DOI: 10.1061/(ASCE) CC. 1943-5614.0000779.
9. Композиционные материалы SMC/BMC технологичность. Качество. Профессионализм <https://www.tnpc.ru/> . [Composite materials SMC/BMC. High technology. Good quality. Professional approach. URL: <https://www.tnpc.ru/> (reference date: 05.06.2022)].
10. Ascione, F., Feo, L., Lamberti, M., Minghini, F., and Tullini, N., ‘A closed-form equation for the local buckling moment of pultruded FRP I-beams in major-axis bending,’ Composite Part B – Engineering, 97, 2016, 292-299. doi:10.1016/ j.compositesb.2016.04.069

Информация об авторах.

Марат Айдарович Салахутдинов , доцент, кандидат технических наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация.

Email: lider-kazann@yandex.ru

Рашид Абдулхакович Каюмов , профессор, доктор физико-механических наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация.

Email: kayumov@rambler.ru

Далер Насимович Арипов , ассистент, кафедры МКиИС, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: architector-1992@mail.com

Арслан Реджепович Ханекоев , магистр КГАСУ по направлению Теория проектирования зданий и сооружений, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Российская Федерация

Email: a_khanekov99@icloud.com

Information about the authors.

Marat A.Salakhutdinov , candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering , Kazan, Russian Federation.

Email: lider-kazann@yandex.ru

Rashit A.Kayumov ,doctor of physical-mathematical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering , Kazan, Russian Federation.

Email: kayumov@rambler.ru

Daler N.Aripov , assistant of the department of metal structures and testing of structures ,
Kazan State University of Architecture and Engineering , Kazan, Russian Federation.

Email: architector-1992@mail.com

Arslan R.Khanekov , magister Kazan State University of Architecture and Engineering in the
field of design theory of buildings and structures. Kazan, Russian Federation.

Email: a_khanekov99@icloud.com



УДК: 624.21

DOI: 10.52409/20731523_2022_2_24

EDN: BLOVRM



Исследования коэрцитивной силы стальных конструкций мостовых сооружений.

И. Ю. Майстренко¹, Т. А. Зиннуров¹, Т. И. Майстренко², Д. И. Ерохин²,
В.С.Малыгин²

¹ Казанский государственный архитектурно-строительный университет г. Казань,
Российская Федерация

² ООО Научно-производственный центр «Строй-Экспертиза» г. Казань, Российская
Федерация

Аннотация: Современный метод неразрушающего контроля, основанный на измерении коэрцитивной силы, демонстрирует возможности анализа напряженно-деформированного состояния для любых стальных конструкций, особенно для наиболее ответственных мостовых сооружений. Цель исследования состоит в оценке статистической изменчивости коэрцитивной силы и достоверности перехода между напряжениями и коэрцитивной силы в стальных конструкциях мостовых сооружений. Основные результаты исследования состоят в получении статистических характеристик коэрцитивной силы для стали марки СтЗсп5 толщиной 8 мм в состоянии поставки, после механической обработки образцов и в процессе нагружения образцов. Результаты, полученные методом доверительных интервалов на основе гипотезы о нормальном распределении случайной величины коэрцитивной силы, хорошо согласуются с результатами аналогичных исследований стали СтЗ, а именно с критическим значением коэрцитивной силы 6...7 А/см (600...700 А/м). Исследования и методические приемы предложенные авторами, продемонстрировали процесс совершенствования системы оценки характерных критических значений коэрцитивной силы с определенным уровнем достоверности по данным серии механических испытаний пропорциональных контрольных образцов. Метод анализа коэрцитивной силы позволит оперативно оценивать переход стали из упругой в упругопластическую и пластическую зону деформации. Значимость для строительной отрасли заключается в обеспечении своевременного выявления тех конструктивных элементов мостовых сооружений, состояние которых не в полной мере отвечает требованиям безопасной эксплуатации. Исследование динамики изменчивости коэрцитивной силы в течение всего жизненного срока цикла мостовых сооружений позволит использовать полученную информацию для оптимального планирования ремонтных мероприятий.

Ключевые слова: коэрцитивная сила, механические испытания, статистический анализ, функция распределения вероятностей, надежность.

Для цитирования: И. Ю. Майстренко, Т. А. Зиннуров, Т. И. Майстренко, Д. И. Ерохин, В. С. Малыгин Исследования коэрцитивной силы стальных конструкций мостовых сооружений // Известия КГАСУ 2022 №2 (60) С.24-36, DOI:10.52409/20731523_2022_2_24 EDN: BLOVRM

Studies of coercive force of steel structures of bridge structures

I. Y. Majstrenko¹, T. A. Zinnurov¹, T. I. Maistrenko²
D. I. Erokhin², V. S. Malygin²

¹Kazan State University of Architecture and Engineering Kazan, Russian Federation

²Scientific and production center "Stroy-Expertisa" Ltd. Kazan, Russian Federation

Abstract: The modern method of non-destructive testing based on the measurement of coercive force demonstrates the possibility of analyzing the stress-strain state for any steel structures, especially for the most critical bridge structures. The purpose of the study is to evaluate the statistical variability of the coercive force and the reliability of the transition between stresses and coercive force in the steel structures of bridge structures. The main results of the study are to obtain the statistical characteristics of the coercive force for steel grade St3sp5 with a thickness of 8 mm in the state of delivery, after machining the samples and in the process of loading the samples. The results obtained by the method of confidence intervals based on the hypothesis of the normal distribution of the random value of the coercive force are in good agreement with the results of similar studies of steel St3, namely, with the critical value of the coercive force of 6...7 A/cm (600...700 A/m). The studies and methodological techniques proposed by the authors demonstrated the process of improving the system for evaluating the characteristic critical values of the coercive force with a certain level of reliability according to a series of mechanical tests of proportional control samples. The method of analysis of the coercive force will make it possible to quickly evaluate the transition of steel from elastic to elastic-plastic and plastic deformation zones. The significance for the construction industry lies in ensuring the timely identification of those structural elements of bridge structures, the condition of which does not fully meet the requirements for safe operation. The study of the dynamics of the variability of the coercive force during the entire life cycle of the bridge structures will allow using the information obtained for optimal planning of repair activities.

Keywords: coercive force, mechanical tests, statistical analysis, probability distribution function, reliability.

For citation: I. Y. Maistrenko, T. A. Zinnurov, T. I. Maistrenko, D. I. Erokhin, V. S. Malygin Results of a laboratory study of flat samples made of rolled steel St3sp5 with registration of coercive force values// News KSUAE,2022 №2(60), P.24-36 DOI:10.52409/20731523_2022_2_24 EDN: BLOVRM

1. Введение

На современном этапе развития науки и технологий происходит интенсивное совершенствование контрольно-приборного оборудования. Приборы специалисту-обследователю позволяют получать больший объем информации о наличии или отсутствии дефектов и повреждений обследуемых конструкций мостовых сооружений. Совершенствование оборудования происходит за счет увеличения чувствительности приборов, улучшенной визуализации и автоматической обработки результатов контроля.

Необходимо указать на некоторые ограничения возможности использования отдельных методов контроля. Эти ограничения в большей степени связаны с несовершенством методики интерпретации результатов неразрушающего контроля. В частности, для мостовых сооружений недостаточно для практики проработана методология оценки поврежденности стальных конструкций с применением приборов, основанных на методе коэрцитивной силы. Метод, основанный на контроле коэрцитивной силы, входит в группу методов неразрушающего контроля магнитного

вида несмотря на то, что в смежных областях знаний данный метод достаточно активно используется, даже на уровне нормативных источников¹.

Большинство исследований направлены на изучение усталостных повреждений, которые сопровождаются движением дислокаций в стальных образцах. Теоретические и экспериментальные исследования авторов демонстрируют, что наиболее важным магнитным параметром для измерения напряженно-деформированного состояния ферритовых сталей является коэрцитивная сила H_c . Попов В. предложили поправочный коэффициент уточнения H_c для различных толщин углеродистой стали [1]. Коэффициент может количественно оценить степень повреждения конструкционных сталей, используемых в металлических конструкциях крана. Аналогичные исследования в данном направлении ведутся другой группой авторов Xin W., Ding K., Ботвина Л.Р., Левин В.П., Тютин М.Р. и другие [2, 3].

Многие авторы проводят исследования, направленные на изменения механических свойств сталей, а магнитные методы могут быть использованы для контроля состояния упрочненного материала. Авторы Макаров А.В., Горкунов Е.С., Иванов А.М., Васильченко С.С. рассматривают механические и термические способы упрочнения, применяемые на наиболее распространенных строительных сталях Ст3, 15ХН4Д и 09Г2С [4-8]. Из списка магнитных параметров коэрцитивная сила наиболее чувствительна к структурным изменениям в процессе статических и циклических нагружений. По мнению авторов, коэрцитивная сила может служить параметрами для контроля и диагностирования качества стали. В работе Kikuchi H. Kamada Y. продемонстрирована однозначная взаимосвязь между магнитными и механическими характеристиками стали [9].

Наиболее интересны работы Иванов А.М. и Курашкин К.В., где исследованы зависимости коэрцитивной силы от одноосных и двухосных напряжений в сварных соединениях из сталей Ст3, 20, 09Г2С и 13Г1С-У [4, 10]. Измерения коэрцитивной силы проводились в центральной части пластины во взаимно перпендикулярных направлениях. По результатам проведенного исследования, автором выдвинуто предположение в виде аналитической зависимости между величиной коэрцитивной силы от одноосных H_{C1}^0 и двухосных H_{C2}^0 напряжений и остаточными осевыми σ_1 и кольцевыми σ_2 напряжениями:

$$H_{C1}^0 = H_{C1}^0 + q_{11}\sigma_1 + q_{12}\sigma_2, \quad (1)$$

$$H_{C2}^0 = H_{C2}^0 + q_{21}\sigma_1 + q_{22}\sigma_2, \quad (2)$$

где q_{ij} – коэффициенты, значения которых зависят от магнитострикции, магнитной анизотропии материала, от вида напряженного состояния.

Авторами Карпунин И.И., Корнилова А.В., Тет П. сформулирована функциональная зависимость эффективного объема V_d макродефекта от отношения величин коэрцитивной силы над дефектом и над бездефектным участком на примере обследования тяжело нагруженного металлургического оборудования:

$$V_d = 272,8 \cdot \ln \frac{H_{сд}}{H_{сбд}} + 40,25 \text{ мм}^3, \quad (3)$$

где: $\overline{H_{сбд}}$ – среднее значение коэрцитивной силы над бездефектным участком зачищенной поверхности образца; $H_{сд}$ – значение коэрцитивной силы над дефектом по экспериментальным данным [11].

В работе авторов Попов Б.Е. и другие показаны методические приемы использования магнитного контроля напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса сосудов, работающих под давлением [1, 12]. Зависимость, связывающая текущее значение коэрцитивной силы H_c с ее исходным значением H_c^0 и соответствующим числом циклов нагружений N , аппроксимируется уравнением

$$H_c = H_c^0 + b \times \ln N, \quad (4)$$

¹ РД ИКЦ «Кран»-007-97-02. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса подъемных сооружений при проведении их обследования и техническом диагностировании (экспертизе промышленной безопасности). – Москва, 1997. – 62 с.

где b – коэффициент, определяющий скорость роста H_c . Выразив из выражения (4) N , получим

$$N = C_1 \times \exp(C_2 \times H_c), \quad (5)$$

где C_1 и C_2 – постоянные, определяемые из решения системы трех уравнений с тремя неизвестными (N_0 , C_1 и C_2), получаемые после подстановки результатов трех измерений коэрцитивной силы $H_{C,i}$ с интервалами ΔN_2 и ΔN_3 : ($N_0, H_{C,1}$), ($N_0 + \Delta N_2, H_{C,2}$), ($N_0 + \Delta N_3, H_{C,3}$); N_0 – число циклов нагружений, соответствующее первому измерению коэрцитивной силы $H_{C,1}$.

В работе Майстренко И.Ю. и других авторов представлен обобщенный алгоритм анализа структурного состояния стали конструктивных элементов мостовых сооружений состоящий из шести основных этапов [13].

Нужно отметить, что недостаточно исследований направленных на установление определенных зависимостей между механическими и магнитными характеристиками сталей в различных состояниях. В связи с этим целью исследования – является оценка статистической изменчивости коэрцитивной силы и достоверности перехода между напряжениями и коэрцитивной силы в стальных конструкциях мостовых сооружений.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- установить закон распределения значений коэрцитивной силы для стали марки СтЗсп5 толщиной 8 мм. на основе экспериментальных данных;
- обосновать надежность получаемых значений коэрцитивной силы при различных уровнях напряжений в стальных конструкциях мостовых сооружений.

Исследование даст научно обоснованную форму для оценки остаточного ресурса строительных конструкций мостов.

2. Материалы и методы

Статистическое исследование, проведенное в данной работе, включало два основных этапа. Первый этап состоял в исследовании значений коэрцитивной силы в плоских образцах из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм. Второй этап предусматривал испытание трёх пропорциональных образцов на растяжение с регистрацией значений коэрцитивной силы на разрывной машине серии ИР 5082-500.

На первом этапе проведем статистическое исследование значений коэрцитивной силы в плоских образцах из стали СтЗсп5. Образцы заранее подготовленных для испытаний на растяжение, следовательно, размеры образцов приняты по габаритам разрывной машины. В таблице 1 представлены принятые размеры плоских образцов из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм. Для определения значений коэрцитивной силы используется коэрцитиметр-структуроскоп КСП-01.

Требования к выборкам, планам испытаний и статистики распределений представлены в национальных стандартах^{2 3}. Руководствуясь указанными требованиями и принимая во внимание общую концепцию плана испытаний объекта исследования, при лабораторном испытании плоских стальных образцов на растяжение принято: допускаемая относительная ошибка (степень точности) $\alpha=0.05$; уровень достоверности $\beta=0.95$.

Таблица 1

Принятые размеры плоских образцов из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм

Номер образца	Толщина образца, мм	Ширина образца, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Длина образца, мм
8-Нс-1	7.75±0.05	72.5±2.0	562.0±19.1	603.0±1.0
8-Нс-2	7.93±0.03	71.5±1.5	567.0±14.0	602.0±1.0
8-Нс-3	7.93±0.05	72.5±2.0	575.0±19.5	599.0±1.0

² ГОСТ 27772-2015. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия / Утвержден: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 07.04.2016. – 30 с.

³ ГОСТ Р 27.403-2009. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы / Утвержден: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 15.12.2009. – 15 с.

В ходе проведения статистического исследования значения коэрцитивной силы в контрольных образцах, каждый из контрольных образцов размечен на равные десять зон (от 1 до 10). В каждой зоне измерения коэрцитивной силы производились в четырех направлениях $H_C^{0^\circ}$, $H_C^{90^\circ}$, $H_C^{180^\circ}$ и $H_C^{270^\circ}$ под углами 0° , 90° , 180° и 270° соответственно.

Процедура проведения механических испытаний включала для каждого образца вычисление выборочное среднее $\hat{\mu}_{Hc.i}$ и коэффициент вариации $v_{Hc.i}$ коэрцитивной силы:

$$\hat{\mu}_{Hc.i} = \frac{\sum_{k=1}^4 H_C^k}{4}, \quad (6)$$

$$v_{Hc.i} = \frac{\Delta_{Hc.i}}{\hat{\mu}_{Hc.i}}, \quad (7)$$

где: H_C^k – значения коэрцитивной силы при характерных k -х положениях коэрцитиметра-структуроскопа относительно оси контрольного образца, А/м;

$$\Delta_{Hc.i} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^4 (\hat{\mu}_{Hc.i} - H_C^k)^2}{15}}. \quad (8)$$

В формуле (8) приведена оценка выборочного среднеквадратического отклонения j -х отдельных значений коэрцитивной силы, а также минимальное a_{Hc} и максимальное b_{Hc} значение выборки. Полученные результаты этих измерений и рассчитанные выборочные статистические характеристики по каждому контрольному образцу сведены в таблицу 2.

Второй этап лабораторного исследования пропорциональных стальных образцов из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм состоял в их испытании на растяжение с регистрацией значений коэрцитивной силы на разрывной машине серии ИР 5082-500.

Процедура проведения механических испытаний контрольных образцов включала их ступенчатое нагружение испытательной нагрузкой, при которой фиксировалось одно значение коэрцитивной силы в четырех характерных положениях $H_C^{0^\circ}$, $H_C^{90^\circ}$, $H_C^{180^\circ}$ и $H_C^{270^\circ}$ коэрцитиметра-структуроскопа в центральной части (в зонах 4...7), а так же вычислялись для каждой i -й ступени выборочное среднее $\hat{\mu}_{Hc.i}$, коэффициент вариации $v_{Hc.i}$ коэрцитивной силы по формулам (6, 7).

Таблица 2

Результаты исследования значений коэрцитивной силы в плоских образцах из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм, подготовленных для испытаний на растяжение

Маркировка образца	Выборочные статистические характеристики				
	μ_{Hc}	Δ_{Hc}	v_{Hc}	a_{Hc}	b_{Hc}
1	2	3	4	5	6
8-Нс-1	344.90 А/м	25.65 А/м	0.0744	302 А/м	412 А/м
8-Нс-2	402.18 А/м	24.02 А/м	0.0597	312 А/м	440 А/м
8-Нс-3	360.65 А/м	18.63 А/м	0.0517	329 А/м	396 А/м
Все образцы	369.24 А/м	33.27 А/м	0.0901	302 А/м	440 А/м

Значения напряжений σ_i и приращений напряжений $\Delta\sigma_i$ вычислялись с учетом начальных фактических отклонений размеров контрольных образцов:

$$\sigma_i = \frac{P_i}{F_0}, \text{ кН/мм}^2, \quad (9)$$

$$\Delta\sigma_i = \frac{\Delta P_i}{F_0}, \text{ кН/мм}^2, \quad (10)$$

где: P_i – усилие, создаваемое испытательным оборудованием (разрывной машиной), кН; $\Delta P_i = P_{i+1} - P_i$ – приращение усилия на очередной ступени нагружения контрольного образца, кН (кгс); F_0 – начальная площадь поперечного сечения контрольного образца, вычисленная с учетом начальных фактических отклонений размеров ширины и толщины проката, мм².

Согласно сертификату на использованный стальной прокат, производитель заявил следующие механические характеристики: временное сопротивление $\sigma_B = 450,0 \text{ Н/мм}^2$; предел текучести $\sigma_T = 325,0 \text{ Н/мм}^2$.

Основные результаты, полученные в ходе механических испытаний трёх стальных образцов из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты испытаний на растяжение пропорциональных стальных образцов из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм

Маркировка образца / ступень нагружения	Усилие, P_i , кН	Напряжение σ_i , кН/мм ²	Статистические характеристики полученной выборки	
			Среднее значение $\hat{\mu}_{нс.1}$	Коэффициент вариации $\nu_{нс.1}$
1	2	3	4	5
8-Нс-1/1	50	0.089 ± 0.003	356.500	0.120
8-Нс-1/2	100	0.178 ± 0.006	411.813	0.203
8-Нс-1/3	120	0.214 ± 0.007	426.250	0.213
8-Нс-1/4	140	0.249 ± 0.009	425.938	0.188
8-Нс-1/5	160	0.284 ± 0.010	431.813	0.151
8-Нс-1/6	180	0.321 ± 0.011	466.063	0.161
8-Нс-1/7	200	0.356 ± 0.012	500.500	0.168
8-Нс-1/8	258	0.459 ± 0.016	688.375	0.275
8-Нс-2/1	50	0.088 ± 0.002	447.500	0.131
8-Нс-2/2	100	0.177 ± 0.005	512.125	0.190
8-Нс-2/3	120	0.212 ± 0.005	538.188	0.199
8-Нс-2/4	140	0.247 ± 0.006	543.875	0.199
8-Нс-2/5	160	0.282 ± 0.007	543.125	0.188
8-Нс-2/6	180	0.318 ± 0.008	532.750	0.186
8-Нс-2/7	200	0.353 ± 0.009	565.750	0.150
8-Нс-2/8	259	0.457 ± 0.011	688.438	0.275
8-Нс-3/1	50	0.087 ± 0.003	383.063	0.146
8-Нс-3/2	100	0.174 ± 0.006	452.875	0.218
8-Нс-3/3	120	0.209 ± 0.007	462.688	0.232
8-Нс-3/4	140	0.244 ± 0.008	474.125	0.228
8-Нс-3/5	160	0.278 ± 0.010	467.625	0.183
8-Нс-3/6	180	0.313 ± 0.011	480.500	0.161
8-Нс-3/7	200	0.348 ± 0.012	496.563	0.159
8-Нс-3/8	261	0.454 ± 0.016	645.750	0.271

3. Результаты и дискуссия

Для получения расчетных значений параметра с заданным уровнем достоверности может быть использован метод доверительных интервалов, в рамках данного исследования в первом приближении озвучена гипотеза о нормальном распределении случайной величины коэрцитивной силы. Анализируя полученные данные таблицы 2, можно отметить, что по магнитным свойствам сталь весьма неоднородна. Наибольший разброс значений коэрцитивной силы получен для образца 8-Нс-1, который составил 7.44%, наименьший разброс 5.17% зафиксирован для образца 8-Нс-3. Неоднородность стали по магнитным характеристикам может быть связана с изменчивостью толщины проката и дефектами кристаллической решетки, примененной обработкой стали при подготовке контрольных образцов в соответствии с принятыми размерами и различного рода неоднородностями.

Полученные значения обобщенных статистических характеристик выборочных данных, представленных в таблице 2, в целом не противоречат гипотезе о нормальном законе распределения случайной величины коэрцитивной силы, так как наблюдается сравнительно небольшое (порядка 2%) расхождение значений среднего и медианы выборки, а также относительно небольшая положительная асимметрия. Так как полигон распределения коэрцитивной силы обладает положительной асимметрией, то график

эмпирической функции распределения будет вытянут в сторону больших значений (Рис. 1).

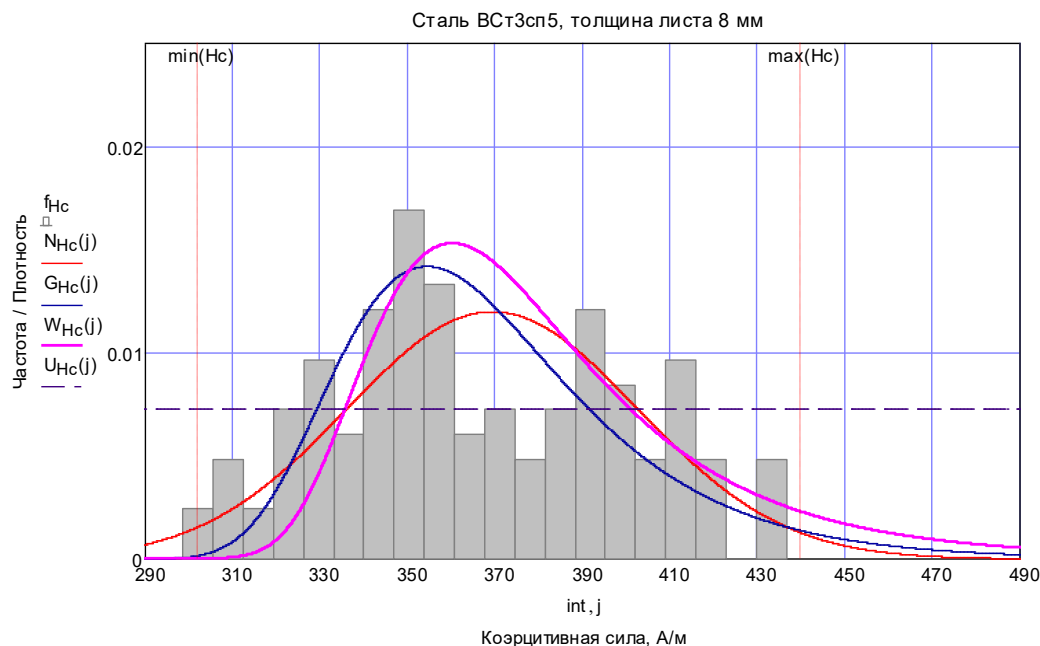


Рис. 1. Гистограмма эмпирической плотности распределения и теоретические кривые плотности распределения: нормальное распределение $N_{Hc}(j)$, трехпараметрическое (смещенное) распределение Вейбулла $W_{Hc}(j)$, распределение экстремальных значений Гумбеля (тип I) $G_{Hc}(j)$ и равномерное распределение $U_{Hc}(j)$

Fig. 1. Histogram of empirical distribution density and theoretical distribution density curves: normal distribution $N_{Hc}(j)$, three-parameter (biased) Weibull distribution $W_{Hc}(j)$, distribution of extreme Gumbel values (type I) $G_{Hc}(j)$ and uniform distribution $U_{Hc}(j)$

При исследовании установлено, что обобщенное значение коэффициента вариации коэрцитивной силы v_{Hc} , равное 9.01%, сопоставимо с разбросом предела текучести стали $v_{\sigma T}$ марки Ст3сп5, которое по данным работы Яковлева оценивается на уровне 9.09% [14]. То есть расхождение между $v_{\sigma T}$ и v_{Hc} составляет порядка 1%, что не превышает допустимой погрешности 5%, использованного коэрцитиметра-структроскопа КСП-1. Механические характеристики стали, заявленные производителем в сертификате соответствия, в целом не противоречат полученным результатам механических испытаний стальных пропорциональных образцов.

Учитывая, что для практических расчетов инженер руководствуется требуемым уровнем достоверности расчетных параметров, проведем анализ результатов исследования коэрцитивной силы от состояния поставки к состоянию упругой работы и далее к состоянию пластического деформирования стали, в вероятностной постановке.

В выполненном нами статистическом исследовании было установлено, что для описания коэрцитивной силы в плоских образцах из стали Ст3сп5 возможно использование нормального закона распределения случайной величины, определим границы ожидаемых областей $H_{c,i}^{inf}$ и $H_{c,i}^{sup}$ параметра $H_{c,i}$ с заданным уровнем достоверности на основе известного распределения Стьюдента [15, 16]:

$$H_{c,i}^{inf} < H_{c,i} < H_{c,i}^{sup}, \quad (11)$$

где: $H_{c,i}^{inf} = \hat{\mu}_{Hc,i} - t_{\beta,v} \cdot \frac{\Delta_{Hc,i}}{\sqrt{N}}$ и $H_{c,i}^{sup} = \hat{\mu}_{Hc,i} + t_{\beta,v} \cdot \frac{\Delta_{Hc,i}}{\sqrt{N}}$ – соответственно нижняя и верхняя граница параметра $H_{c,i}$; $t_{\beta,v}$ – квантили распределения Стьюдента для принятого уровня достоверности β с $v = N - 1$ степенями свободы; N – общее число измерений коэрцитивной силы в центральной части контрольного образца.

Значения напряжений σ_i ранжированы в соответствии с их значениями при том, что число проведенных измерений напряжений достаточно мало, определим доверительный интервал для среднего совокупности на основе размаха выборки:

$$\sigma_i^{\inf} < \sigma_i < \sigma_i^{\sup}, \quad (12)$$

где: $\sigma_i^{\inf} = \hat{\mu}_{\sigma,i} - q_{\beta,n} \cdot W_{q,i}$ и $\sigma_i^{\sup} = \hat{\mu}_{\sigma,i} + q_{\beta,n} \cdot W_{q,i}$ – соответственно нижняя и верхняя граница параметра σ_i ; $q_{\beta,n}$ – значение коэффициента Стьюдента для принятого уровня достоверности β и объема выборки n ; $W_{q,i} = \sigma_{i,\max} - \sigma_{i,\min}$ – размах выборки в пределах i -й ступени нагружения контрольного образца.

Границы областей ожидаемых значений коэрцитивной силы и напряжений, вычисленные по формулам (11) и (12) при различном уровне достоверности (0.95 и 0.99), для исходных данных, принятых по таблице 2, и до начала испытаний (ступень нагружения «0»), представлены соответственно в таблицах 4 и 5. Примечания: $t_{\beta,v} = 1.761$ – для одностороннего доверительного интервала при $\beta = 0.95$, $v = 15$; $q_{\beta,n} = 0.885$ – для одностороннего доверительного интервала при $\beta = 0.95$, $n = 3$.

Таблица 4

Границы областей ожидаемых значений коэрцитивной силы и напряжений в центральной части контрольных образцов из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм при их испытании на растяжение при уровне достоверности 0.95

Маркировка образца	Ступень нагружения	Напряжение σ_i , Н/мм ²			Значения коэрцитивной силы в центральной части образца, $H_{c,i}$, А/м		
		$\hat{\mu}_{\sigma,i}$	$\sigma_i^{\inf}$	$\sigma_i^{\sup}$	$\hat{\mu}_{H_{c,i}}$	$H_{c,i}^{\inf}$	$H_{c,i}^{\sup}$
1	2	3	4	5	6	7	8
8-Нс-1	0	0	0	0	344.900	333.603	356.197
	1	89	84	94	356.500	337.666	375.334
	2	178	167	189	411.813	375.009	448.617
	3	214	202	226	426.250	386.279	466.221
	4	249	233	265	425.938	390.684	461.192
	5	284	266	302	431.813	403.107	460.519
	6	321	302	340	466.063	433.028	499.098
	7	356	335	377	500.500	463.482	537.518
	8	459	431	487	688.375	605.034	771.716
8-Нс-2	0	0	0	0	402.180	391.610	412.750
	1	88	84	94	447.500	421.691	473.309
	2	177	168	186	512.125	469.287	554.963
	3	212	203	221	538.188	491.037	585.339
	4	247	236	258	543.875	493.592	594.158
	5	282	270	294	543.125	498.172	588.078
	6	318	304	332	532.750	489.125	576.375
	7	353	337	369	565.750	528.389	603.111
	8	457	437	487	688.438	605.090	771.786
8-Нс-3	0	0	0	0	360.650	352.441	368.859
	1	87	82	92	383.063	358.441	407.685
	2	174	163	185	452.875	409.411	496.339
	3	209	197	221	462.688	415.430	509.946
	4	244	230	258	474.125	426.534	521.716
	5	278	260	296	467.625	429.950	505.300
	6	313	293	333	480.500	446.442	514.558
	7	348	327	369	496.563	461.804	531.322
	8	454	426	482	645.750	568.707	722.793

Таблица 5

Границы областей ожидаемых значений коэрцитивной силы и напряжений в центральной части контрольных образцов из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм при их испытании на растяжение при уровне достоверности 0.99

Маркировка образца	Степень нагружения	Напряжение σ_i , Н/мм ²			Значения коэрцитивной силы в центральной части образца, $H_{c,i}$, А/м		
		$\hat{\mu}_{\sigma,i}$	$\sigma_i^{\inf}$	$\sigma_i^{\sup}$	$\hat{\mu}_{H_{c,i}}$	$H_{c,i}^{\inf}$	$H_{c,i}^{\sup}$
1	2	3	4	5	6	7	8
8-Нс-1	0	0	0	0	344.900	328.067	361.733
	1	89	76	102	356.500	328.436	384.564
	2	178	153	203	411.813	356.973	466.653
	3	214	184	244	426.250	366.691	485.809
	4	249	211	287	425.938	373.408	478.468
	5	284	242	326	431.813	389.039	474.587
	6	321	275	367	466.063	416.839	515.287
	7	356	305	407	500.500	445.341	555.659
	8	459	391	527	688.375	564.192	812.558
8-Нс-2	0	0	0	0	402.180	386.429	417.931
	1	88	80	96	447.500	409.044	485.956
	2	177	156	198	512.125	448.294	575.956
	3	212	191	233	538.188	467.931	608.445
	4	247	222	272	543.875	468.951	618.799
	5	282	252	312	543.125	476.142	610.108
	6	318	284	352	532.750	467.746	597.754
	7	353	315	391	565.750	510.080	621.420
	8	457	411	503	688.438	564.244	812.632
8-Нс-3	0	0	0	0	360.650	348.418	372.882
	1	87	74	100	383.063	346.375	419.751
	2	174	149	199	452.875	388.110	517.640
	3	209	179	239	462.688	392.271	533.105
	4	244	210	278	474.125	403.211	545.039
	5	278	236	320	467.625	411.488	523.762
	6	313	267	359	480.500	429.752	531.248
	7	348	297	399	496.563	444.769	548.357
	8	454	386	522	645.750	530.951	760.549

Примечания: $t_{\beta,v} = 2.624$ – для одностороннего доверительного интервала при $\beta = 0.99$, $v = 15$; $q_{\beta,n} = 2.111$ – для одностороннего доверительного интервала при $\beta = 0.99$, $n = 3$.

Для наглядности представим полученные расчетные данные, содержащиеся в таблицах 4 и 5.

Для выбора наиболее подходящей модели аппроксимации результатов испытаний проведен их регрессионный анализ, которым установлено, что наиболее подходящей моделью (детерминированная составляющая) является степенная функция вида:

$$H_c(\sigma) = a \cdot \sigma^b + c, \quad (13)$$

для которой коэффициенты a , b и c определялись в среде многофункциональной вычислительной системы Mathcad. График функции $H_c(\sigma)$ представлен на рисунке 2.

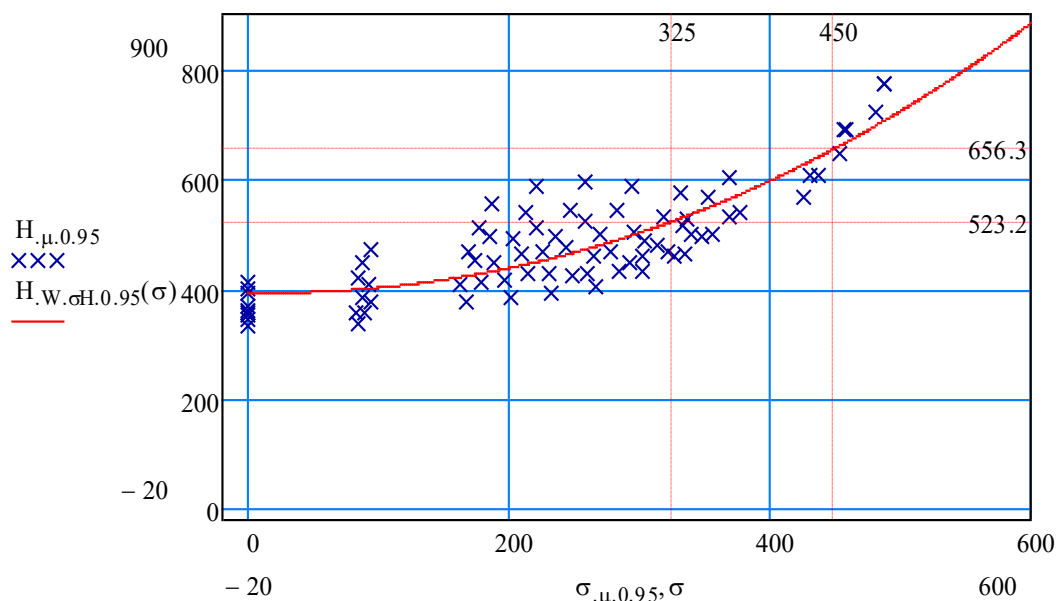


Рис. 2. График функции вида $H_c(\sigma) = (5.008 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma^{2.157} + 392.325)$ по результатам испытания образцов

Fig. 2. Graph of a function of the form $H_c(\sigma) = (5.008 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma^{2.157} + 392.325)$ according to the test results of the samples

При построении аппроксимирующей функции (13) рассматривалось условие минимума суммы квадратов отклонений от экспериментальных данных $H_{c,i}(\sigma_i)$ лабораторного исследования пропорциональных стальных образцов из стали СтЗсп5 толщиной 8 мм:

$$\sum_{i=0}^k [H_c(\sigma) - H_{c,i}(\sigma_i)]^2 \Rightarrow \min. \quad (14)$$

Расчет случайной составляющей регрессионной модели выполнен по формуле:

$$\varepsilon_{Hc}(\sigma) = \sqrt{\frac{D_{Hc}}{k-2}} \cdot t_{\beta} \cdot \sqrt{\frac{1}{k} + \frac{(\sigma - \mu_{\sigma})^2}{\Delta_{\sigma}^2}}, \quad (15)$$

где: D_{Hc} – сумма квадратов отклонений детерминированной составляющей регрессионной модели от массива значений коэрцитивной силы в центральной части контрольного образца, объемом $k = 9$, соответствующему циклу испытаний для трех образцов; μ_{σ} и Δ_{σ} – выборочное среднее и стандартное отклонение напряжений для выборки, соответствующему циклу испытаний для трех образцов. В итоге получаем следующую формулу:

$$H_c(\sigma) = a \cdot \sigma^b + c \pm \sqrt{\frac{D_{Hc}}{k-2}} \cdot t_{\beta} \cdot \sqrt{\frac{1}{k} + \frac{(\sigma - \mu_{\sigma})^2}{\Delta_{\sigma}^2}}, \quad (16)$$

Проведенный регрессионный анализ позволил получить обобщенные математические модели зависимости между растягивающими напряжениями σ (Н/мм²) и коэрцитивной силой H_c (А/м) для серии испытаний контрольных образцов толщиной 8 мм из стали марки СтЗсп5:

Выражение (16) позволяет вычислить коэрцитивную силу при достижении стали СтЗсп5 предела текучести стали ($\sigma_T = 325,0$ Н/мм²) значения следует ожидать в пределах 486.58...559.78 А/м при уровне достоверности 0.95, а при уровне достоверности 0.99 – в пределах 470.59...575.76 А/м. При достижении временного сопротивления стали СтЗсп5 ($\sigma_B = 450,0$ Н/мм²) следует ожидать значения коэрцитивной силы в пределах 619.95...692.66 А/м при уровне достоверности 0.95, а при уровне достоверности 0.99 – в пределах 604.07...708.54 А/м.

Полученные результаты в целом хорошо согласуются с результатами аналогичных исследований приведенных в работах Попова Б.Е. и Иванова А.М. для стали Ст3, а критические значения коэрцитивной силы находятся в интервале 6...7 А/см (600...700

А/м) [1, 4]. Однако отметим, что в данных рекомендациях не приведены сведения об уровне достоверности полученных критических значений коэрцитивной силы.

Приобретенные в настоящей работе методические приемы, основанные на статистических методах, позволяют усовершенствовать систему оценки характерных критических значений коэрцитивной силы с определенным (заданным) уровнем достоверности по данным серии механических испытаний пропорциональных контрольных образцов.

4. Выводы

1. Для аппроксимации опытных полигонов частот коэрцитивной силы в плоских образцах из стали марки СтЗсп5 толщиной 8 мм в состоянии поставки и в процессе их нагружения установлен нормальный закон распределения, который может быть использован для определения расчетной величины коэрцитивной силы в стальных конструкциях методом доверительных интервалов. В ходе эксперимента установлено, что на протяжении всего цикла нагружения фиксировались монотонно увеличивающиеся наибольшие значения коэрцитивной силы вдоль растягивающего усилия (положения $H_C^{0^\circ}$ и $H_C^{180^\circ}$), а при разрушении образца наибольшие значения коэрцитивной силы получены поперек усилия (положения $H_C^{270^\circ}$ и $H_C^{90^\circ}$). Описываемое явление показывает, что для стали марки СтЗсп5 характерна анизотропия коэрцитивной силы.

2. Обоснована надежность получаемых значений коэрцитивной силы при различных уровнях напряжений в стальных конструкциях мостовых сооружений методом доверительных интервалов. Путем статистической обработки результатов эксперимента было установлено, что коэрцитивная сила, при достижении предела текучести стали СтЗсп5, будет находиться в пределах 486.58...559.78 А/м с достоверностью 0.95, а при уровне достоверности 0.99 – в пределах 470.59...575.76 А/м. При достижении временного сопротивления стали СтЗсп5, следует ожидать значения коэрцитивной силы в пределах 619.95...692.66 А/м при уровне достоверности 0.95, а при уровне достоверности 0.99 – в пределах 604.07...708.54 А/м.

Список литературы/References

1. Popov B., Evdokimov S., Leonova O., Sokolov Y. The method of magnetic coercimetry and its application to assess the residual life of lifting equipment E3S Web Conf., 97 2019 06016 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706016>
2. Xin W., Ding K., Lv Q. Theory and experimental study on magnetic monitoring of steel structure fatigue damage based on different exciting current. (2018) Proceedings of the 7th Asia-Pacific Workshop on Structural Health Monitoring, APWSHM 2018, 2018. p. 536-546.
3. Botvina L.R., Levin V.P., Tyutin M.R., Soldatenkov A.P., Demina Yu.A. Evaluation of cyclic damage of structural steels by magnetic NDT methods: ICF 2017 - 14th International Conference on Fracture, 2. 2017. p. 225-226.
4. Ivanov A.M. Vashenko S.S. Changes of coercive force of steel samples with various ductility reached by thermomechanical processing at stretching. Reviews on Advanced Materials Science, 25 (3), 2010. p. 269-272.
5. Makarov, A.V., Savrai, R.A., Gorkunov, E.S. et al. Effect of friction-induced hardening on the features of magnetic and eddy-current behavior of an annealed structural steel under cyclic loading conditions. Russ J Nondestruct Test 44, 2008. p. 496-508. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061830908070085>
6. Makarov, A.V., Gorkunov, E.S., Savrai, R.A. et al. The peculiarities of magnetic and eddy-current testing of quenched structural steel hardened by nanostructuring frictional treatment. Russ J Nondestruct Test 48, 2012. p. 615-622 DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061830912110034>
7. Gorkunov, E.S., Zadvorkin, S.M., Goruleva, L.S. et al. The effect of equal channel angular pressing on the mechanical and magnetic properties of 09Г2С steel. Russ J Nondestruct Test 48, 2012. p. 568-575. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061830912100051>
8. Gorkunov E.S., Yakushenko E.I., Zadvorkin S.M., Mushnikov A.N., Mel'nikova E.V. Effect of elastic deformation by compression, tension, and torsion on the critical magnetic

- field distribution in a steel 15XH4I. Russian Journal of Nondestructive Testing, 46 (2), 2010. p. 75-83.
9. Kikuchi H. Kamada Y., Kobayashi S., Ara K. Diagnosis of degradation in structural ferromagnetic materials by magnetic measurement. 6th International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies 2, 2009. p. 776-786.
 10. Курашкин К.В. Определение напряжений в стальных конструкциях методом коэрцитивной силы: сб. докладов XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Казань. 2015. С. 2190-2192.
 11. Карпухин И.И., Корнилова А.В., Тет П. Возможности применения метода коэрцитивной силы для обследования технического состояния металлургического оборудования: сб. материалов IV Международной научной конференции / Научно-технический прогресс в черной металлургии. 2019. С. 88-96.
 12. Попов Б.Е. и др. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса сосудов, работающих под давлением // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 3. С. 27-36.
 13. Maystrenko I., Zinnurov T., Erohin D., Maystrenko T. Analysis of the efficiency of obtaining reliable data when operating with number sets in simulation of bridges. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 890(1), 012030
 14. Яковлева В.С. Малоуглеродистая полуспокойная сталь для металлических конструкций: сб. трудов ЦНИИСК, вып. 29. – М.: Стройиздат, 1976. С. 42-70.
 15. S. Mirzaee, S. F. Shayesteh, S. MahdaviFar, and S. H. Hekmatara Synthesis, characterization and Monte Carlo simulation of CoFe₂O₄ / Polyvinylpyrrolidone nanocomposites: the coercivity investigation, Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2015, vol. 393, no. 11, p. 1–7.
 16. Law A.M., Kelton W.D. Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill, 2000, 368 p.
 17. Vdovin E., Mavliev L., Stroganov V., IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. (2020)
 18. Grishyn I. V., Ivanov G. P., Kayumov R. A., Durability of bridge asphaltic concrete pavements under temperature loads, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 786(1), 012032 (2020) DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012032
 19. Galeev R., Nizamov R., Abdrakhmanova L., Khozin V., in IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. (2020)

Информация об авторах.

Игорь Юрьевич Майстренко – кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

E-mail: igor_maystr@mail.ru

Тагир Альмирович Зиннуров – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

E-mail: leongar@mail.ru

Татьяна Игоревна Майстренко – инженер по промышленной безопасности, ООО Научно-производственный центр «Строй-Экспертиза», г.Казань, Российская Федерация
E-mail: maystrenko1496@mail.ru

Дмитрий Игорьевич Ерохин – проектировщик, ООО Научно-производственный центр «Строй-Экспертиза», г.Казань, Российская Федерация
E-mail: erokhin1604@mail.ru

Виталий Сергеевич Малыгин – проектировщик, ООО Научно-производственный центр «Строй-Экспертиза», г.Казань, Российская Федерация
E-mail: krasmal@gmail.com

Information about the authors.

Igor Y. Maistrenko – candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: igor_maystr@mail.ru

Tagir Almirovic Zinnurov – candidate of technical sciences, senior researcher, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: leongar@mail.ru

Tatiana Igorevna Maistrenko - industrial Safety Engineer, Scientific and production center "Sroy-Expertisa" ltd. Kazan, Russian Federation

E-mail: maystrenko1496@mail.ru

Dmitry Igorevich Erokhin – project designer, Scientific and production center "Sroy-Expertisa" ltd. Kazan, Russian Federation

E-mail: erokhin1604@mail.ru

Vitaly Sergeyevich Malygin – project designer, Scientific and production center "Sroy-Expertisa" ltd. Kazan, Russian Federation

E-mail: krasmal@gmail.com



УДК: 539.3

DOI: 10.52409/20731523_2022_2_37

EDN: BYNQBR



Определение характеристик вязкоупругой модели стеклопластика по результатам изгиба труб квадратного сечения

Р.А. Каюмов¹, Ф.Р. Шакирзянов¹, Л.Р. Гимранов¹, А.Р. Гимазетдинов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г.Казань, Российская Федерация

Аннотация: В работе приводятся результаты экспериментов на трехточечный изгиб трубчатых образцов из пултрузионного композита, предложен один из простейших вариантов ядра ползучести при сдвиге этого материала, разработан метод идентификации характеристик этого ядра путем решения прямых и обратных задач деформирования балок в виде тонкостенных труб. Приводятся полученные этим методом сдвиговые характеристики предложенной вязкоупругой модели и сравнение расчетных и экспериментальных результатов.

Цель исследования – разработка методики определения сдвиговых характеристик вязкоупругой модели деформирования стеклопластика по результатам экспериментов на трехточечный изгиб тонкостенных труб. Для ее достижения было необходимо выполнить следующие задачи: эксперименты, выбрать вариант соотношений наследственной теории упругости, разработать метод решения прямой задачи изгиба балок с учетом поперечного сдвига и на ее основе разработать метод решения обратной задачи для определения сдвиговых характеристик.

Результаты. Проведены эксперименты на трехточечный изгиб труб квадратного сечения. Предложена методика идентификации характеристик ядра ползучести при сдвиге композитных материалов, армированных однонаправленно, на основе решения прямых и обратных задач деформирования тонкостенных труб, изготовленных из исследуемого материала.

Выводы. Значимость полученных результатов состоит в том, что механические характеристики вязкоупругой модели для пултрузионных стеклопластиков, полученные по предложенной методике их идентификации, позволяют получать хорошее согласование результатов аналитических расчетов с экспериментами. И методика проведения испытаний, и методика идентификации достаточно просты для использования на практике. Полученная модель наследственной теории упругости позволяет оценивать влияние вязкоупругих деформаций на напряженно-деформированное состояние элементов из стеклопластика.

Ключевые слова: стеклопластик, вязкоупругая модель, изгиб, механические характеристики, идентификация.

Для цитирования: Р.А. Каюмов, Ф.Р. Шакирзянов, Л.Р. Гимранов, А.Р. Гимазетдинов, Определение характеристик вязкоупругой модели стеклопластика по результатам изгиба труб квадратного сечения // Известия КГАСУ 2022 № 2(60), С.37-44, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_37, EDN: BYNQBR

Determination of the characteristics of a viscoelastic fiberglass model based on the results of bending square section pipes

R.A. Kayumov¹

F.R. Shakirzyanov¹, L.R. Gimranov¹, A.R. Gimazetdinov¹,

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract :*Problem statement.* The paper presents the results of experiments on three-point bending of tubular samples made of pultrusion composite, one of the simplest variants of the creep core during shear of this material is proposed, a method for identifying the characteristics of this core by solving direct and inverse problems of deformation of beams in the form of thin-walled pipes is developed. The shear characteristics of the proposed viscoelastic model obtained by this method are presented and the calculated and experimental results are compared.

The purpose of the study is to develop a methodology for determining the shear characteristics of a viscoelastic model of fiberglass deformation based on the results of experiments on three-point bending of thin-walled pipes. To achieve it, it was necessary to perform the following tasks: experiments, choose a variant of the relations of the hereditary theory of elasticity, develop a method for solving the direct problem of bending beams taking into account transverse shear and, based on it, develop a method for solving the inverse problem to determine shear characteristics.

Results. Experiments on three-point bending of square-section pipes have been carried out. A method is proposed for identifying the characteristics of the creep core during shear of composite materials reinforced unidirectionally, based on solving direct and inverse problems of deformation of thin-walled pipes made of the material under study.

Conclusions. The significance of the obtained results lies in the fact that the mechanical characteristics of the viscoelastic model for pultrusion fiberglass obtained by the proposed method of their identification make it possible to obtain a good agreement of the results of analytical calculations with experiments. Both the test procedure and the identification method are quite simple to use in practice. The resulting model of the hereditary theory of elasticity allows us to evaluate the effect of viscoelastic deformations on the stress-strain state of fiberglass elements.

Keywords: fiberglass, viscoelastic model, bending, mechanical characteristics, identification.

For citation: R.A. Kayumov, F.R. Shakirzyanov, L.R. Gimranov, A.R. Gimazetdinov, Determination of the characteristics of a viscoelastic fiberglass model based on the results of bending square section pipes //News KSUAE 2022 №2 (60), p.37-44, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_37, EDN: BYHQBR

1. Введение

Современное развитие многих отраслей промышленного производства характеризуется увеличением объема и расширением номенклатуры применяемых полимерных слоистых композиционных материалов, значительная часть которых изготавливается из угле- и стеклопластиков[1]. Эти материалы обладают уникальным комплексом физико-механических свойств, к которым следует отнести сравнительно высокую удельную прочность и жесткость[2].

Отличительными чертами этих материалов является анизотропия механических свойств всего материала и каждого его слоя, а также тем, что процессы производства композиционного материала и детали из него часто совмещены по времени[3-5]. Перечисленные особенности обуславливают возможность за счет рационального расположения слоев получить большую прочность и жесткость элементов конструкций при сохранении их массы или уменьшить массу при сохранении их прочности и жесткости[6,7]. Таким образом, наличие методов определения механических

характеристик композиционных материалов (в том числе и сдвиговых характеристик в вязкоупругой модели деформирования) имеет важное значение при расчете элементов конструкций из различных типов композитов[8].

Целью исследования является получение методики определения сдвиговых характеристик вязкоупругой модели деформирования стеклопластика по результатам экспериментов на трехточечный изгиб тонкостенных труб.

Для достижения этой цели было необходимо выполнить следующие задачи:

- провести испытания образцов из композитных материалов на трехточечный изгиб с пошаговым измерением нагрузки и прогиба;
- по результатам анализа экспериментальных данных выявить проявление у пултрузионного стеклопластика свойство ползучести и подобрать вариант соотношений наследственной теории упругости;
- разработать метод решения прямой задачи изгиба балок с учетом поперечного сдвига и на ее основе разработать метод решения обратной задачи для определения сдвиговых характеристик стеклопластика.

2. Материалы и методы.

При определении механических характеристик композитных материалов обычно проводят испытания на плоских образцах [9-13]. В данной работе образцы изготавливались иным методом, а именно, путем вырезания труб поперек армирования. После изготовления образцы выдерживались не менее 24 часов при температуре 24 градуса и влажности около 45%. Испытания проводились при температуре 24 градуса и влажности 45%.

Образцы в виде труб квадратного сечения испытывались на трехточечный изгиб. При нагружении осуществлялось пошаговое измерение нагрузки и прогиба.

Согласно ГОСТ число образцов было не менее 3. При проведении испытаний образцов стеклопластиковых композитных материалов соблюдались следующие ГОСТы:

ГОСТ 12423-66 (СТ СЭВ 885-78) Пластмассы. Условия кондиционирования и испытаний образцов.

ГОСТ 14359-69 Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования.

ГОСТ 25.601-80 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей.

ГОСТ 25.604-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на изгиб при нормальной, повышенной и пониженной температурах.

Проведенные экспериментальные исследования образцов из пултрузионного стеклопластика дают следующие жесткостные характеристики:

модуль упругости при растяжении вдоль волокон $E = 30,2$ ГПа;

начальный модуль упругости при сдвиге G_{12} в плоскости 1-2: $G_{12} = 2,73$ ГПа [10].

Ниже приводятся результаты экспериментов, которые проводились на универсальной испытательной машине ИР 5082. (см.рис.1).

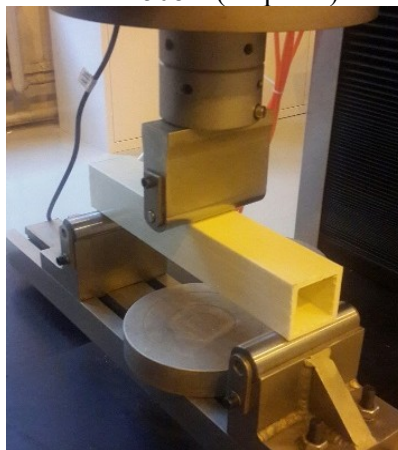


Рис.1 Общий вид проведения испытания.
Fig.1 General view of the test.

При обработке результатов были получены значения перемещений в различные моменты времени. (см. рис.2).

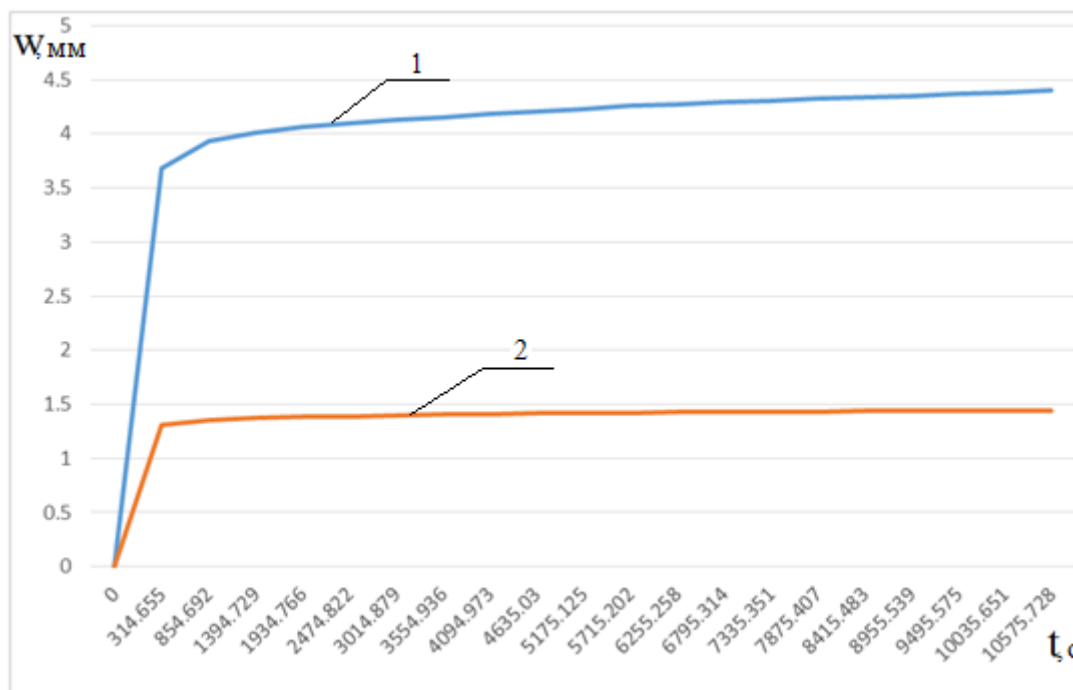


Рис.2 Зависимость время-перемещение (1-при $P_1=15\text{ кН}$, 2-при $P_2=5\text{ кН}$, t - сек)

Fig.2 Time-displacement dependence (1-at $P_1=15\text{ kN}$, 2-at $P_2=5\text{ kN}$, t - sec)

В общем случае зависимости между компонентами тензоров деформаций и компонентами тензора напряжений даже в случае плоского напряженного состояния в качестве аргументов будут содержать не менее трех инвариантов компонент напряжений и векторов, определяющих положение осей ортотропии. Для определения этих зависимостей требуется проводить сложные эксперименты и применять специальные методы их анализа. Поэтому часто используют различные подходы для их упрощения путем введения гипотез, в том числе, их математического анализа (см., например, [12-14]), основанных на использовании особенностей свойств композитных материалов. Здесь используются следующие упрощающие предположения. Во-первых, как и в [12,13], считается, что неупругие деформации возникают только при сдвиге (в осях ортотропии). Во-вторых, предлагается обобщение гипотезы Качанова [15], согласно которому упругие и неупругие деформации развиваются независимо друг от друга и зависят только от уровня напряжений.

Рассмотрим задачу определения вязкоупругих характеристик на сдвиг путем анализа результатов испытаний на трехточечный изгиб короткой балки в виде трубы квадратного сечения. Общий прогиб будет состоять из двух слагаемых [10] - прогиба от изгибающего момента и прогиба от сдвига под действием поперечной силы.

$$w_{\max} = w^{\text{изг}} + w^{\text{сдв}} \quad (1)$$

$$w^{\text{изг}} = \frac{Pl^3}{48EJ} \quad (2)$$

Где l - расстояние между опорами. Прогиб от сдвига можно разложить на две составляющие – упругую и вязкоупругую:

$$w^{\text{сдв}} = w^{\text{упруг}} + w^{\text{в}} = \frac{Pla}{4G_{12}A} + \frac{\gamma^v l}{2} \quad (3)$$

Где, P – нагрузка, A – площадь сечения, γ^v – неупругая часть деформации сдвига. Коэффициент a зависит от формы сечения, который в нашем случае [10] имеет значение $a=1,878$.

Для деформации γ^v примем теорию нелинейной вязкоупругости в виде:

$$\gamma^v = B \int_0^t \frac{\tau^n}{(t-\theta)^\alpha} \cdot d\theta \quad (4)$$

На этапе нагружения считаем, что

$$\tau = \theta \tau_{\max} / t_1 \quad (5)$$

Тогда

$$\gamma_1^v(t_1) = B \int_0^{t_1} \frac{(\tau_{\max} \frac{\theta}{t_1})^n}{(t_1 - \theta)^\alpha} \cdot d\theta \quad (6)$$

После интегрирования получим:

$$\gamma_1^v = B \left(\frac{\tau_{\max}}{t_1} \right)^n \frac{t_1^{1-\alpha+n} \cdot \Gamma(1-\alpha) \cdot \Gamma(1+n)}{\Gamma(2-\alpha+n)} \quad (7)$$

Где $\Gamma(x)$ – гамма-функция.

На этапе выдержки при $\tau = \tau_{\max}$ получим:

$$\gamma^v = \gamma_1^v(t_1) + B(\tau_{\max})^n \int_{t_1}^t \frac{d\theta}{(t-\theta)^\alpha} = \gamma_1^v(t_1) + B(\tau_{\max})^n \left[\frac{(t-t_1)^{1-\alpha}}{1-\alpha} \right] \quad (8)$$

Для идентификации параметров B, n, α запишем выражение для приращений прогибов в разные моменты времени t_i :

$$\Delta w^{\text{эксн}} = w(t_i) - w(t_1) = [\gamma^v(t_i) - \gamma^v(t_1)] l, \quad (9)$$

Система уравнений (9) относительно B, n, α решается методом минимизации ее квадратичной невязки.

3. Результаты.

Решение задачи идентификации B, n, α при нагрузке $P_1=15\text{кН}$ и $P_2=5\text{кН}$ дает следующие значения искомых коэффициентов:

$$B=8.34 \times 10^{-3} \text{сек}^{\alpha-1} \cdot \text{см}^{2n} \cdot \text{кН}^{-n}, \quad n = 1.584, \quad \alpha = 0.914$$

Использование этих параметров приводит к следующей картине (см.рис.3), отражающей результаты сравнения эксперимента и расчетов, проведенных с использованием модели (4):

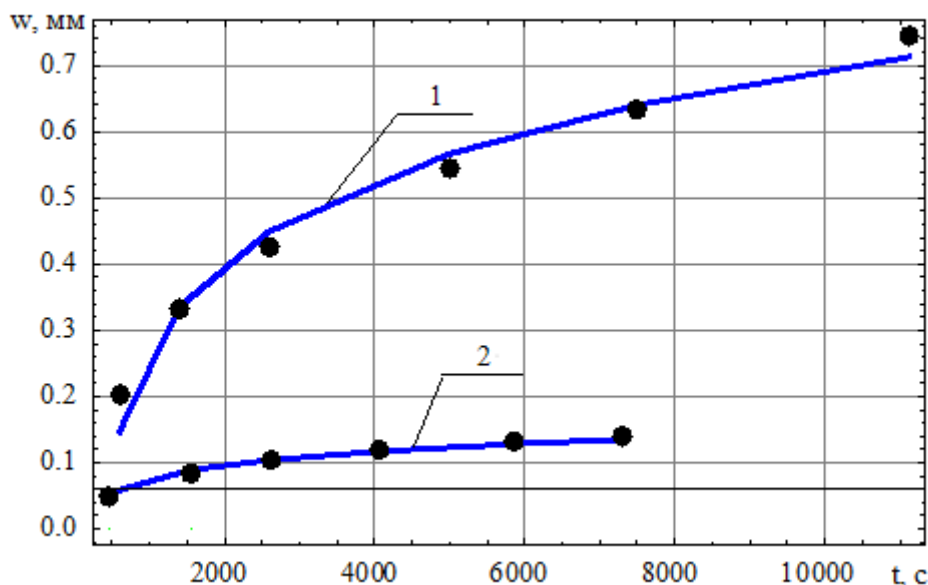


Рис.3 График согласования результатов эксперимента и модели деформирования. По оси ординат отложено время t в секундах, по ординате – вязкоупругая часть прогиба w^v в мм (1-при $P_1=15$ кН, 2-при $P_2=5$ кН, t - сек.)

Fig.3 The graph of the agreement of the experimental results and the deformation model. Along the ordinate axis, the time t in seconds is postponed, along the ordinate, the viscoelastic part of the deflection in mm. (1-at $P_1= 15$ kN, 2-at $P_2= 5$ kN, t - sec)

Как видно из рис.3, полученные коэффициенты дают достаточно хорошее согласование эксперимента с аналитическими расчетами.

4. Обсуждение

Для определения сдвиговых характеристик обычно используют эксперименты на плоских образцах крестообразного сечения[5]. При этом приходится использовать достаточно непростое оборудование, как для нагружения, так и для тензометрирования[6]. Предложенная методика значительно проще, причем замеры прогибов осуществляются с хорошей точностью. На основе анализа экспериментов для длинных и коротких трубчатых образцов удастся получить жесткостные характеристики E_1 , G_{12} . Выдержка трубчатых образцов под нагрузкой в течение определенного времени позволяет определить для композита и реологические характеристики наследственной теории упругости при сдвиговой деформации. Полученные графики согласования имеют хорошую сходимость результатов эксперимента и модели деформирования.

5. Заключение

1) Приведены результаты испытаний на трехточечный изгиб коротких труб квадратного сечения при двух значениях нагрузок и данные их обработки.

2) По результатам анализа экспериментальных данных выявлено, что пултрузионный стеклопластик проявляет свойство ползучести при трехточечном изгибе тонкостенных труб. Появление этого эффекта объясняется наличием вязких деформаций поперечного сдвига, сравнимых с линейными деформациями волокон вдоль оси тонкостенной трубы. Для моделирования этого процесса при сдвиге на основе теории вязкоупругости предложен вариант ядра ползучести с тремя параметрами.

3) Разработаны методика решения прямых задач деформирования балок трубчатого сечения и основанная на ней методика идентификации характеристик этого ядра, которая сведена к задаче минимизации квадратичной невязки результатов численных расчетов и экспериментальных данных. Выявлено хорошее согласование этих данных с результатами аналитических расчетов, в которых использовались полученные в результате решения задачи идентификации вязкоупругие характеристики.

Список литературы/ References

1. Гарипов А. И. Численное исследование закритической работы стержней кольцевого поперечного сечения при внецентренном сжатии // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5(82). С. 87-93. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-87-93. [Garipov A. I. Numerical investigation of post-critical resistance of hollow circular cross-section bars under bending and axial compression // Vestnik grazhdanskih ingenerov. 2020. № 5(82). P. 87-93. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-87-93.]
2. Peng J. L., Ho C. M., Chan S. L., Chen W. F. Stability study on structural systems assembled by system scaffolds // Journal of Constructional Steel Research. 2017. V. 137, P. 135-151. DOI: 10.1016/J.JCSR.2017.06.004.
3. Mercier C., Khelil A., Al Mahmoud F., Blin-Lacroix J. L., Pamies A. Experimental investigations of buckling behaviour of steel scaffolds // Structures. 2021. V. 33. P. 433-450. DOI: 10.1016/J.ISTRUC.2021.04.045.
4. Kayumov R. A., Shakirzyanov F. R. Large Deflections and Stability of Low-Angle Arches and Panels During Creep Flow // Adv. Struct. Mater. 2021. V. 141. P. 237-248. DOI:10.1007/978-3-030-54928-2_18.
5. Pignataro M., Rizzi N., Luongo A. Stability, bifurcation, and postcritical behaviour of elastic structures. Amsterdam: Elsevier Science, 1991. 358 p.
6. 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.
7. Beale R., André J. Design Solutions and Innovations in Temporary Structures // Târgoviște: IGI Global, 2017. 503 p.
8. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем. М.: Физматгиз, 1963. 880 с. [Vol'mir A.S. Stability of elastic systems. M.: Physmathgis, 1963. 880 p.]
9. Башаров Ф.Ф., Низамеев В.Г.. Evaluation of bearing capacity of a beam on an elastic foundation using the methods of the theory of limiting balance, издательство: EDP Sciences, France, За рубежом, Academia. Архитектура и строительство, номер: 274, 2021, 1046-1054 с. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127403029>.
10. Каюмов Р. А., Тазюков Б. Ф., Мухамедова И. З., Шакирзянов Ф. Р. Большие прогибы вязкоупругих панелей // Известия вузов. Математика. 2019, №11, С. 80-86. [Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Muhamedova I. Z., Shakirzyanov F. R. Large deflections of viscoelastic panels // Russian Mathematics. 2019. 63(11). P. 71-76.]
11. Liu H., Jia L., Wen S., Liu Q., Wang G., Chen Z. Experimental and theoretical studies on the stability of steel tube-coupler scaffolds with different connection joints // Engineering Structures. 2016. V. 106. P. 80-95. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2015.10.015.
12. Vega-Posada C., Areiza-Hurtado M., Aristizabal-Ochoa J. D. Large-deflection and post-buckling behavior of slender beam-columns with non-linear end-restraints // International Journal of Non-Linear Mechanics. 2011. V. 46. P. 79-95. DOI: 10.1016/J.IJNONLINMEC.2010.07.006.
13. Areiza-Hurtado M., Aristizabal-Ochoa J. D. Second-order analysis of a beam-column on elastic foundation partially restrained axially with initial deflections and semirigid connections // Structures. 2019. V. 20. P. 134-146. DOI: 10.1016/J.ISTRUC.2019.03.010.
14. Giraldo-Londoño O., Monsalve-Giraldo J. S., Aristizabal-Ochoa J. D. Large-deflection and postbuckling of beam-columns with non-linear semi-rigid connections including shear and axial effects // International Journal of Non-Linear Mechanics. 2015. V. 77. P. 85-95. DOI: 10.1016/J.IJNONLINMEC.2015.07.009.
15. Pieńko M., Błazik-Borowa E. Experimental studies of ringlock scaffolding joint // Journal of Constructional Steel Research. 2020. V. 173. DOI: 10.1016/J.JCSR.2020.106265.
16. Kayumov R. A. Postbuckling behavior of compressed rods in an elastic medium // Mechanics of Solids. 2017. V. 52. № 5. P. 575-580. DOI: 10.3103/S0025654417050120.

Информация об авторах.

Рашид Абдулхакович Каюмов, доктор физико-математических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: kayumov@rambler.ru

Фарид Рашитович Шакирзянов, кандидат физико-математических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: faritbox@mail.ru

Линур Рафаилович Гимранов, заведующий кафедрой, кандидат технических наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: leenuur@gmail.com

Айваз Расимович Гимазетдинов, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: aivazaivaz1313@gmail.com

Information about the authors.

Rashit A. Kayumov, doctor of physical and mathematical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: kayumov@rambler.ru

Farid R. Shakirzyanov, Candidate of physical and mathematical sciences, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: faritbox@mail.ru

Linur R. Gimranov, Candidate of technical sciences, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: leenuur@gmail.com

Aivaz R. Gimazetdinov, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: aivazaivaz1313@gmail.com



УДК: 721.011(16-2)
DOI: 10.52409/20731523_2022_2_45
EDN: CFERGX



Методика создания трёхлучевой архитектуры материнской жилой секции

Т.М.Нуреев¹, А.О.Попов¹, Д.Т.Нуреева²

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань,
Российская Федерация

²ООО «Зодчество», г.Казань, Российская Федерация

Аннотация. Цель настоящего исследования – создание методологии по алгоритму геометрического построения трёхлучевой архитектуры материнской жилой секции для полигональной замкнутой жилой застройки кварталов малой и средней этажности. Актуальность исследования – в необходимости выполнения Государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильём граждан Российской Федерации», утвержденной Постановлением Правительства 30 декабря 2017 года №1710. Методология применима в странах, с условиями, копирующими нормы инсоляции России, изменённые в 2001 и 2017 годах. Алгоритм необходим последующей разработке компьютерной программы по проектированию трёхлучевой объёмно-планировочной структуры для полигональной замкнутой сетки как жилого, так и иного функционального назначения.

Результаты. В первом, опубликованном этапе настоящего исследования, была представлена методология проектирования множества типов «дочерних» жилых секций, проектируемых из 27-ми методов кинетики. Один из 27-ми методов был представлен в виде использования исходного модуля, предназначенного для построения точных граничных параметров материнской жилой секции. Но метод не был расшифрован графически. Настоящая статья - второй этап исследования, раскрывающий методы построения и использования исходного модуля в проектировании граничных параметров материнской жилой секции, которые позволят сформировать жилую застройку четырёх типов уровня социального комфорта.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры заключается в энергоэффективном проектировании, выраженном в уменьшении времени создания материнской и множества дочерних жилых секций. На основе выявленных граничных параметров исходного модуля и нормативно установленных четырёх типов квартир, определён графический алгоритм построения материнской и дочерних жилых секций, формирующих трёхлучевую объёмно-планировочную структуру.

Ключевые слова: трёхлучевая структура, материнская и дочерняя жилые секции, кинетика, транспозиция, подобие, исходный модуль.

Для цитирования: Нуреев Т.М., Попов А.О., Нуреева Д.М. Методика создания материнской жилой секции трёхлучевой объёмно-планировочной структуры // Известия КГАСУ. 2022 № 2 (60). с.45-58, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_45, EDN: CFERGX

Methodology for creating a three-rayed architecture of the maternal residential section

T.M. Nureyev¹, A.O. Popov¹, D.T. Nureyeva²

¹Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation,

²LLC «Zodchestvo», Kazan, Russian Federation

Abstract. The purpose of this study is to create a methodology for the algorithm of geometric construction of the three-beam architecture of the mother residential section for polygonal closed residential development of small and medium-rise blocks. The relevance of the study lies in the need to implement the State Program "Providing affordable and comfortable housing for citizens of the Russian Federation", approved by Government Decree No. 1710 of December 30, 2017. The methodology is applicable in countries with conditions that copy the insolation standards of Russia, changed in 2001 and 2017. The algorithm is necessary for the subsequent development of a computer program for the design of a three-beam space-planning structure for a polygonal closed grid for both residential and other functional purposes.

Results. At the first published stage of this study, a methodology for designing a variety of types of "daughter" residential sections designed from 27 kinetic methods was presented. One of the 27 methods was presented in the form of using an initial module designed to construct accurate boundary parameters of the mother residential section. But the method was not deciphered graphically. This article is the second stage of the study, revealing the methods of constructing and using the initial module in the design of the boundary parameters of the maternal residential section, which will allow the formation of residential quarters of four types of social comfort level.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture lies in energy-efficient design, expressed in reducing the creation time of the maternal and many daughter residential sections. Based on the identified boundary parameters of the initial module and the normatively established four types of apartments, a graphical algorithm for constructing the maternal and daughter residential sections forming a three-rayed space-planning structure is determined.

Keywords: three-rayed structure, polygonal mesh, maternal and daughter residential sections, kinetics, transposition, similarity, source module.

For citation: T.M. Nureyev, A.O. Popov, D.T. Nureyeva Methodology for creating the maternal residential section of a three-rayed space-planning structure // News KSUAE 2022 № 2 (60), p. 45-58, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_45, EDN: CFERGX

1. Введение

Объект исследования – архитектура трёхлучевой объёмно-планировочной структуры (ТЛОПС) в полигональной замкнутой жилой застройке. Актуальность исследования в том, что тема не имеет методологии проектирования и реализации в России. История рассматриваемой темы во взаимосвязи геометрии жилых дворов и энергоэффективности их квартир говорит о том, что замкнутые жилые дворы были созданы ещё в 3-ем тысячелетии до нашей эры и распространены в пяти типах климата нынешнего Ирана [1].

Настоящее исследование основано на анализе проблем и результатов авторской реализации изучаемой темы [2]. Реализация выявила две проблемы. Первая заключалась в отсутствии компьютерной программы, создающей полигональную жилую застройку. Проблема до сих пор не решена. При анализе первой проблемы выяснилась причина её возникновения, являющейся второй проблемой. Она заключалась в отсутствии методологии геометрического построения полигональной жилой застройки разных типов. Одно из решений второй проблемы было представлено в опубликованном первом разделе настоящего исследования, предлагающим методологию, с использованием методов

смежных научных дисциплин [3]. Методологии указанного типа иногда называют генеративным архитектурным проектированием [4].

В последующий период повторного использования проекта реализованного жилого квартала возникли инвесторы и заказчики, желающие изменить площади квартир проекта, привязав их к четырем типам уровня комфорта квартир, нормативно закреплённых в Своде правил 42.13330.2016 («Градостроительство») в виде минимальной общей площади квартир: специализированный, муниципальный, эконом и бизнес. Также появилось требование заказчиков по созданию поэтажного «автономного пространства оборудования, регулирующего энергоресурсы квартир» (АПОРЭК), которого нет в действующих нормах. А также обеспечить беспрепятственный доступ маломобильных групп населения (МГН) от лифта до своей квартиры на оставшихся этажах, кроме первого. Для решения указанных пожеланий были сформулированы цель и задачи, изложенные ниже.

Цель второго этапа настоящего исследования – создание методологии энергоэффективного проектирования материнской жилой секции (МЖС), использующей записанный, но не расшифрованный термин - исходный модуль уровня комфорта квартир (далее – исходный модуль) [5]. Первая задача исследования: определить граничные параметры полного квадрата исходного модуля МЖС, которые должны сформировать площади МЖС, взаимосвязанные с нормативными площадями 4-х типов уровня комфорта квартир, закреплённых в Своде правил 42.13330.2016. Соответственно, граничные параметры полного квадрата исходного модуля должны сохранить как минимальные, так и максимальные законодательные граничные площади рассматриваемых 4-х типов квартир. Они указаны в местных нормах градостроительного проектирования субъектов России – МНГП. Сохранение указанных площадей в проектах трёхлучевых жилых секций муниципального типа жилья, позволит утвердить их для работников бюджетной сферы, претендующих на получение социального льготного ипотечного кредита, предусмотренного законодательством. Вторая задача исследования: создать *единый* графический алгоритм построения граничных параметров МЖС, применимый в 4-х типах уровня комфорта квартир. Третья задача исследования: определить минимальное количество подобий исходного модуля, которые можно использовать в создании разных типов дочерних жилых секций (ДЖС).

2. Материалы и Методы

В первом разделе настоящего исследования эмпирически было определено, что все методы геометрического алгоритма построения МЖС и ДЖС должны следовать одному обязательному условию: любые пересечения четырёх разнонаправленных координатных осей X, Y, D, F несущих конструкций МЖС должны происходить в одной точке. Размеры в осях должны быть рациональными числами. Для решения первой задачи исследования и крайнего условия проектирования возникла гипотеза использования математической аксиомы полного квадрата в виде исходного модуля: математические расчёты с ним приводят к результату с рациональными (целыми) числами. Соответственно, размер стороны полного квадрата должен быть рациональным числом [6]. На основании настоящей аксиомы был выполнен графоаналитический анализ, связанный с гипотезой, что граничные параметры соседних пространств, сформированные кинетикой полного квадрата должны получить размеры с рациональными числами. Гипотеза была проверена на исламском символе – арабском орнаменте в виде двух квадратов, повернутых относительно друг друга на 45 градусов, с центром вращения в середине их диагоналей. Гипотеза подтвердилась на размерах между всеми точкам пересечений двух квадратов. Решено было проверить гипотезу с условием, что центр вращения полного квадрата будет находиться на одной из его вершин, являющейся завершением диагонали. Условие было необходимо для определения граничных параметров соседних с полным квадратом пространств трёх комбинаторных блоков МЖС, которые неизвестны до проектирования. В итоге замерялось расстояние между новым местоположением вершин и центром вращения. Расстояние оказывалось с рациональным числом. Гипотеза подтвердилась. На прилагаемом рисунке фрагмента МЖС исходный модуль обозначен буквой «А» над размерными линиями (рис. 01). За

модуль принят квадрат однокомнатной квартиры в координационных осях её конструкций. Почему однокомнатной квартиры? Потому что остальные типы квартир – это добавление к исходному модулю необходимого количества жилых комнат, граничные параметры которых неизвестны до проектирования МЖС.

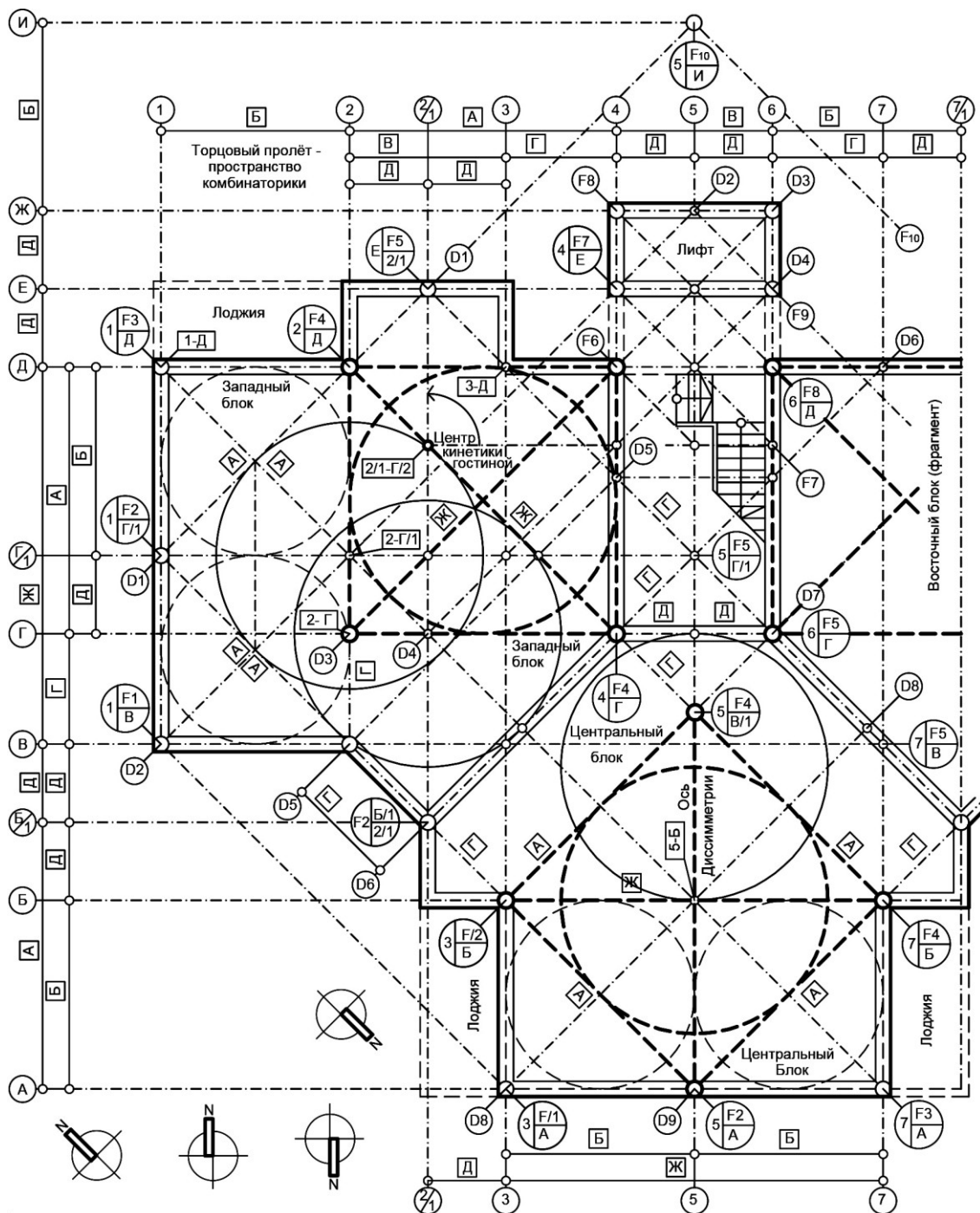


Рис.1. Материнская жилая секция (МЖС) ТЛОПС. Фрагмент. (Иллюстрация авторов).

Fig.1. Maternal residential section (MRS) TRSPS. Fragment. (Illustration by the authors).

Таким образом, была решена первая задача. Вторая задача исследования решена в виде семи методов алгоритма построения трёх комбинаторных блоков МЖС. Методы строятся на кинетике элементов исходного модуля [7]. В расчётах кинетики применяются формулы тождества и методы триангуляции [8]. На рисунке № 1 оригинал модуля находится в осях: «Г-Д» и «2-4».

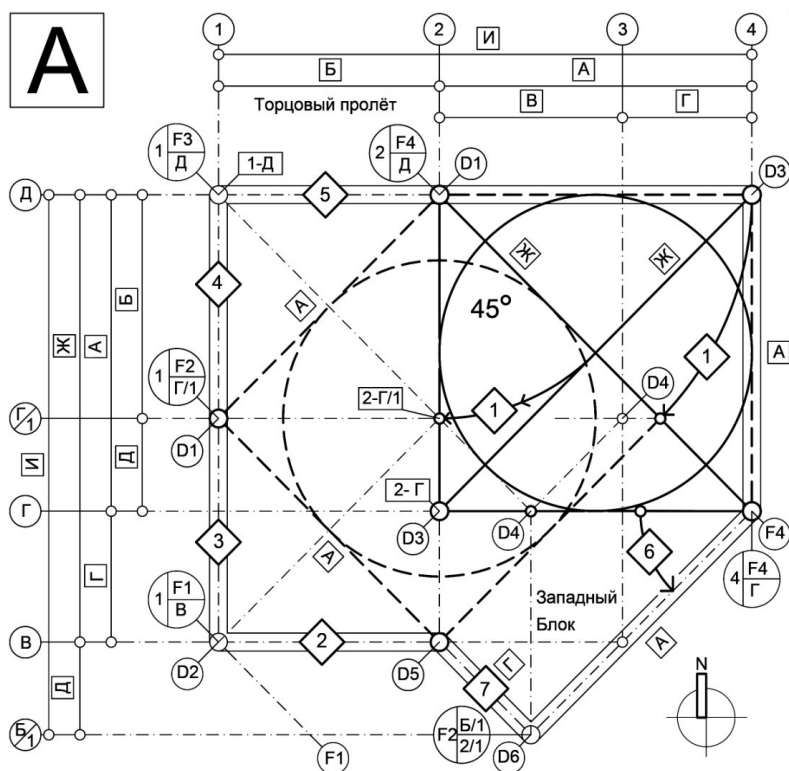


Рис.2А. Алгоритм построения Западного комбинаторного блока МЖС (Иллюстрация авторов).
Fig.2A. The algorithm for constructing the Western combinatorial block of the MRS (Illustration by the authors).

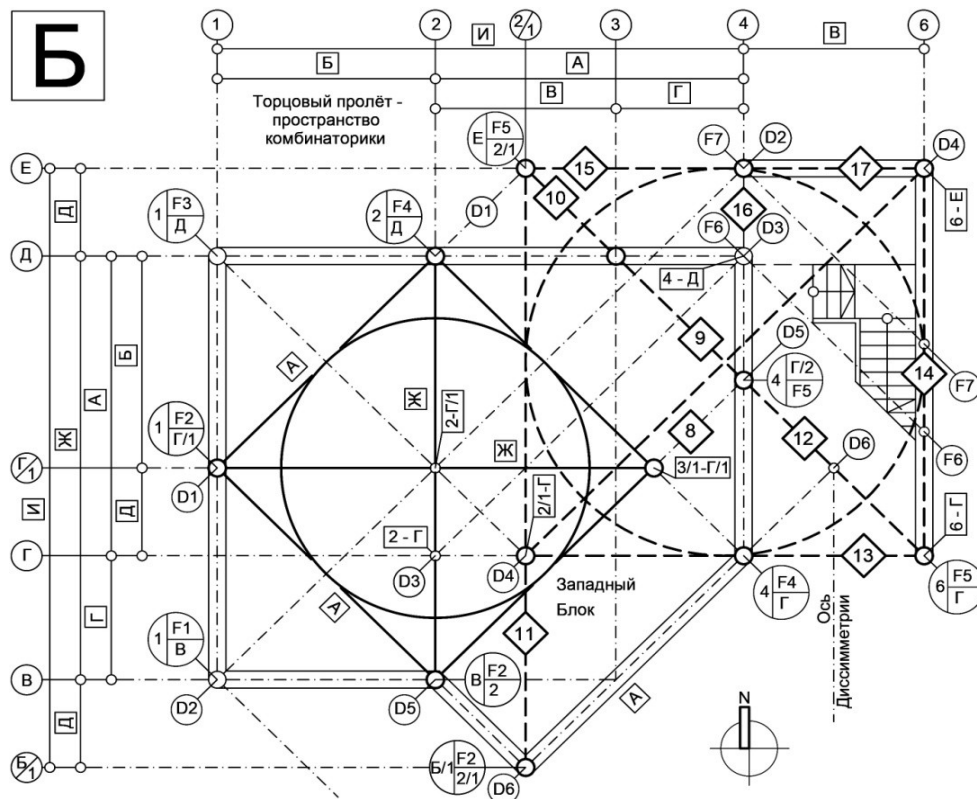


Рис.2Б. Алгоритм построения лестничного пространства МЖС (Иллюстрация авторов).
Fig.2B. The algorithm for constructing the stair space of the MRS (Illustration by the authors).

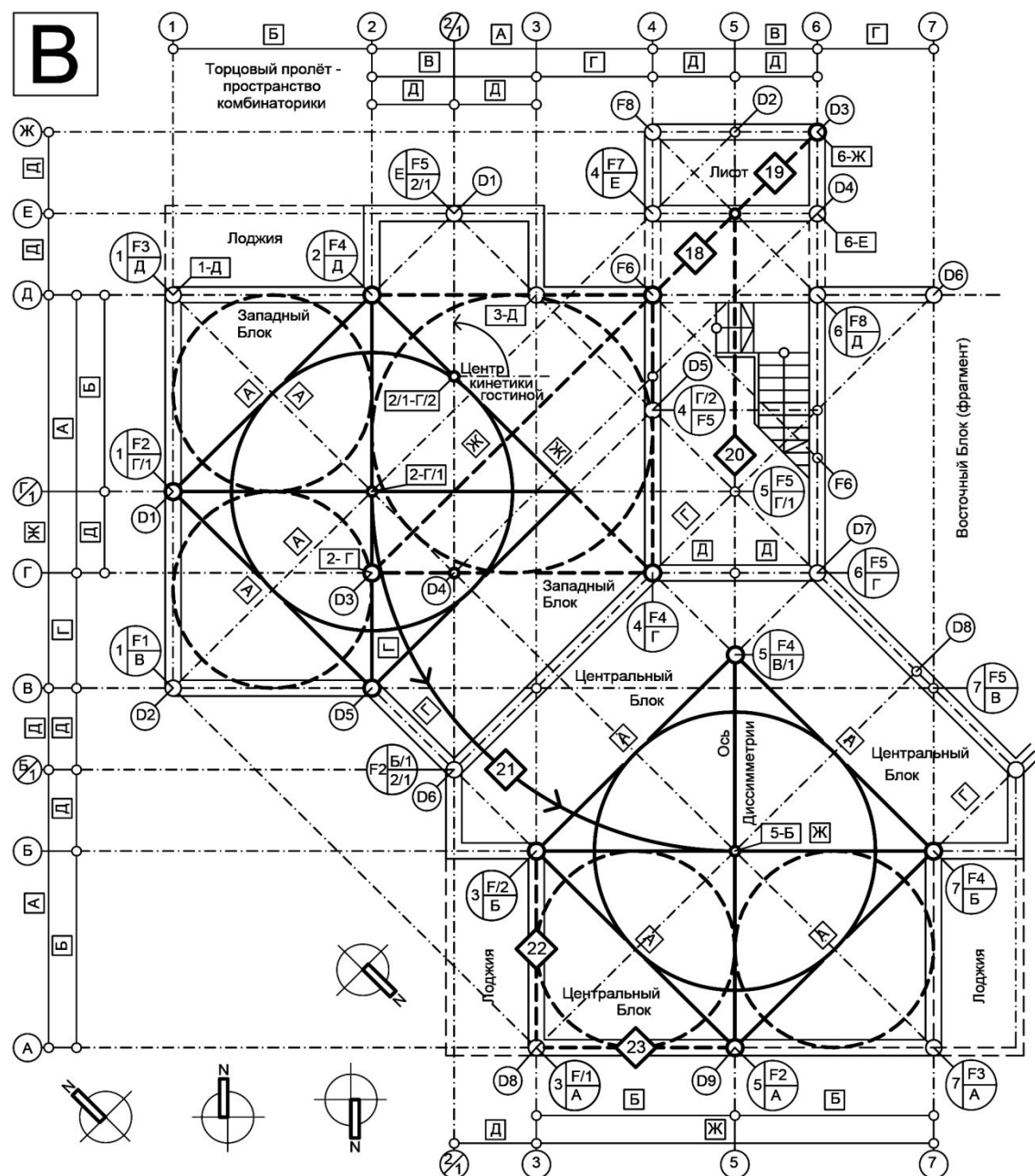


Рис.2В. Алгоритм построения лифтовой шахты и Центрального комбинаторного блока МЖС
(Иллюстрация авторов).

Fig.2C. The algorithm for constructing the elevator shaft and the Central combinatorial block of the MRS
(Illustration by the authors).

Ниже – текстовое описание единых графических обозначений элементов МЖС ТЛОПС, изображённых в прилагаемых схемах А, Б, В (рис. 2). Их восемь.

Расшифруем единые графические обозначения для трёх схем А, Б, В рисунка № 02:

1. Для легкости поиска, восприятия и анализа граничных размеров квадрата исходного модуля в однообразной трёхлучевой координационной системе используется метод аппроксимации. Он заключается в дублировании графического квадрата исходного модуля вписанной окружностью. Окружность помогает найти центр квадрата и центр гипотенуз двух равнобедренных треугольников, вписанных в рассматриваемый квадрат исходного модуля. Противоположные точки слившихся гипотенуз двух треугольников являются граничными точками диагоналей квадрата исходного модуля.
2. Окружность вводится также в копии квадрата исходного модуля, полученные методами кинетики. Копии исходного модуля являются уменьшенными или

- увеличенными подобиями квадрата исходного модуля, формирующими граничные точки комбинаторных блоков МЖС.
3. Периметральные двойные тонкие сплошные линии, со срединным размещением в них штрих - пунктирных координационных осей – это границы трёх комбинаторных блоков МЖС, к которым должны привести методы графического алгоритма геометрического построения настоящего исследования;
 4. Исходный квадратный модуль на рисунке № 2А обозначен двумя взаимно перпендикулярными диагоналями квадрата по осям «D3» и «F4».
 5. Квадратный периметр исходного модуля, попавший на штрих - пунктирные линии координационных осей, заменены утолщённой пунктирной линией;
 6. Очерёдность выполнения алгоритма геометрического построения МЖС представлена арабскими цифрами внутри графических ромбов из утолщённых линий.
 7. Окружности меньшего диаметра, размещённые на трёх разнонаправленных координационных осях – это контрольные точки пересечения координационных осей, центров радиусов поворота исходного модуля, точек захвата одного из подобий исходного модуля, для осуществления их кинетики;
 8. В целях ликвидации «лишнего» символа в формулах математического расчёта операций кинетики исходного модуля для контрольных точек, в которых пересекаются четыре координатные системы ТЛОПС (X, Y, D, F), применён метод «игнорирования» обозначения одной из координационных осей. В нашем случае в трёхсимвольное обозначение не вводится символ координатной системы «D». Он показывается отдельно в направлении продолжения своей оси: D1, D2, D3 и т.д. Таким образом, обозначение контрольной точки с пересекающимися в ней четырьмя координатными системами ТЛОПС (X, Y, D, F), остаётся трёхсимвольным.

Расшифруем текстом схемы А-В рисунка № 2 в определении семи методов, формирующих граничные параметры следующих элементов МЖС:

- А). Западного комбинаторного блока (1-3 методы);
- Б). Лестнично-лифтового узла (ЛЛУ: 4 и 5 методы);
- В). Центрального комбинаторного блока (6-й метод);

Г). Опорных конструкций для межэтажных перекрытий МЖС с местами их размещения и контрольными точками их опирания на пересечениях разнонаправленных координационных осей (7-й метод).

Первый метод (рис.2А): поворот исходного модуля на 45 градусов по часовой стрелке для создания первого подобия исходного модуля, которое должно расположиться в двух координатных системах, обозначаемыми латинскими буквами «D» и «F». Центр угла поворота расположен в контрольной точке «2, F4, D». Получена первая копия исходного модуля в виде квадрата и внутренней окружности, очерченных утолщённой пунктирной линией. Полученная контрольная точка «1, F2, Г/1» является серединой торцевой стены Западного блока. Размер торцевой стены равен длине диагонали исходного модуля. Размер обозначен буквой «Ж» в графическом квадрате. Второй метод (рис.2А): «П»-образное очерчивание границ будущего торцевого конструктивного пролёта с помощью последовательных операций графического алгоритма (от 2-ой до 5-ой), соединяя контрольную точку «1, F2, Г/1» с северным и южным углами первой копии исходного модуля. Третий метод (рис.2А): поворот на 45 градусов против часовой стрелки южной стороны оригинала исходного модуля. Поворот выполнен в виде 6-ой операции графического алгоритма с центром угла поворота в контрольной точке «4, Г, F4». Завершение периметра искомого пятиугольного пространства МЖС ТЛОПС происходит операцией №7 графического алгоритма, соединяющего контрольную точку «F2, Б/1, 2/1» с южным углом первого подобия исходного модуля. Четвёртый метод (рис. 2Б): продолжение юго-восточной стороны первой копии исходного модуля до пересечения с ближайшей координационной осью смежного пространства лестницы, которая должна находиться под углом 45 градусов к координатной системе первого подобия исходного модуля. Они определяются последовательными операциями графического алгоритма: от 9-ой до 17-ой. Операция № 8 графического алгоритма в рисунке 2Б предназначена для установления контрольной точки «4, Г/2, F5», в которой происходит перелом направления юго-восточной стороны подобия исходного модуля на

два новых направления: северо-западное и юго-восточное. Оба направления в итоге завершаются диагональю первого подобия исходного модуля, но большего размера. Первое подобие исходного модуля очерчивает точные границы лестничного пространства МЖС, а также резервное пространство Западного комбинаторного блока.

Пятый метод (рис.2В): продолжение диагонали исходного модуля на северо-восток: до пересечения с контрольной точкой «6-Ж» угла будущей лифтовой шахты. Этот же метод находит контрольную точку расположения оси симметрии МЖС ТЛОПС, расположенной на пересечении диагонали исходного модуля с северной стороной найденного лестничного пространства. Найденная контрольная точка начала оси симметрии МЖС ТЛОПС обозначена как «5-Е». Ось симметрии необходима для графического алгоритма геометрического построения оставшихся двух комбинаторных блоков МЖС ТЛОПС: Центрального и Восточного. Шестой метод (рис. 2В): двадцать первая операция вращения на 45 градусов против часовой стрелки первой копии исходного модуля, расположенного в координатных системах «D» и «F» до совмещения его углов с осью симметрии «5» МЖС ТЛОПС. Центр угла вращения находится на оси симметрии МЖС ТЛОПС в контрольной точке «5, F5, Г/1». Полученные западный и восточный углы второй копии исходного модуля являются границами Центрального комбинаторного блока с названиями, обозначенными соответственно, следующими контрольными точками: «3, F2, Б» и «7, F4, Б». Южный угол второй копии исходного модуля является серединой торцевой южной стены Центрального комбинаторного блока, обозначенной контрольной точкой: «5, F1, А». Соединение крайних трёх углов второй копии исходного модуля в координатных системах «X» - «Y» очерчивает торцевой конструктивный пролёт Центрального комбинаторного блока МЖС ТЛОПС. Зеркальное выполнение по оси симметрии МЖС шести указанных выше методов создаст параметры Восточного комбинаторного блока. Седьмой метод – определение мест размещения опорных конструкций для межэтажных перекрытий МЖС на пересечениях разнонаправленных координационных осей, с установлением их граничных параметров и контрольных точек их торцевых опор Седьмой метод реализует 27 методов кинетики и комбинаторики элементов жилой ТЛОПС, описанных в первом разделе настоящего исследования. Реализация происходит благодаря внедрению в ДЖС ТЛОПС опорной конструкции – железобетонного универсального (ж/б) ригеля «Нуртамаг», представленного в виде двух патентов (далее по тексту - ригель) (Рис.3) [9,10].

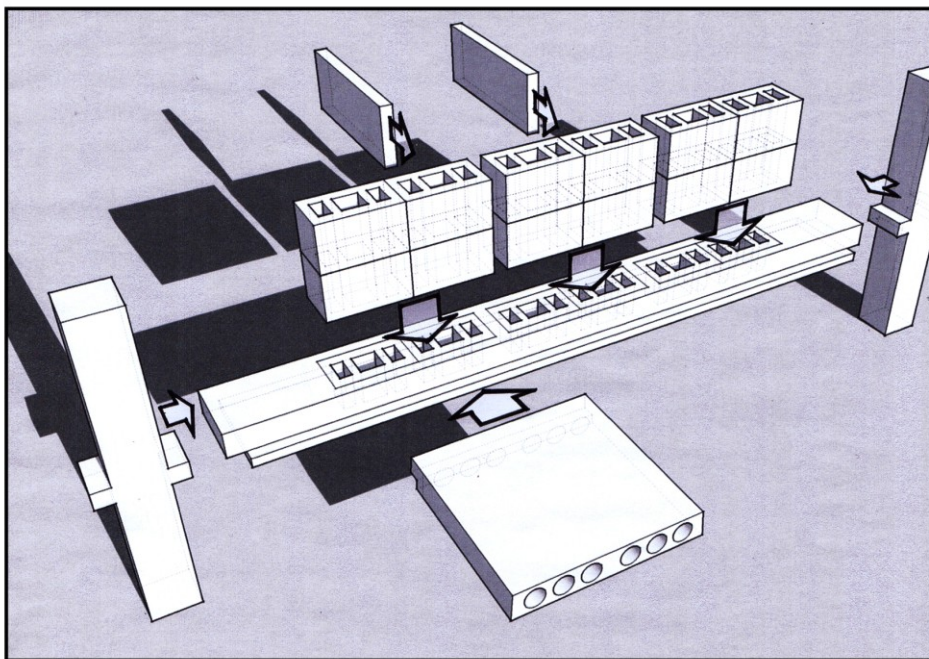


Рис.3. Универсальный ригель «Нуртамаг» с вентиляционными блоками из пенобетона.Взрыв - схема (Иллюстрация авторов).

Fig.3. Universal rigel "Nurtamag" with ventilation blocks made of foam concrete.Expllosion diagram (Illustration by the authors).

Представленное на рисунке № 4 планировочное решение паркинга использует пространства под лоджиями квартир, для продолжения своего объёма. Таким образом, количество 36 машиномест в нём, будет соответствовать количеству квартир в одной 9-ти этажной ДЖС для варианта открытого паркинга в виде проветриваемого подполья. Чтобы сохранить один лифт для максимального количества жилых этажей ДЖС, необходимо соблюсти второй абзац пункта А.1.7. приложения «А» СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные»: чистая высота технического этажа, размещаемого над открытым паркингом в виде проветриваемого подполья, должна быть менее 1800 мм. В этом случае технический этаж не будет входить в количество этажей здания.

Настоящий абзац – это текстовое описание графических обозначений ДЖС ТЛОПС с азимутом 315, использованных в рисунке № 4: А). Большие окружности с утолщённой пунктирной линией на рисунке № 3 обозначают место размещения исходного модуля в трёх комбинаторных блоках ДЖС; Б). Две тонкие пунктирные линии, со срединным размещением осевой линии – это ж/б балки, разделяющие следующие пространства: комбинаторные блоки ДЖС, квартиры в них, а также разделение офисного или технического этажа, размещаемых над закрытой автостоянкой; В). Четыре пунктирные линии, с отсутствующей между ними срединной осевой линией – это ригель «Нуртамаг», опирающийся на указанные выше ж/б балки. Высота всех указанных балок и ригеля размещается в высоте технического этажа.

3. Результаты

Научная значимость исследования заключается в использовании методов кинетики к полному квадрату исходного модуля, итоги которых приводят к граничным площадям квартир трёхлучевых жилых секций, соответствующих четырём типам уровня комфорта квартир, утверждённых Сводом правил 42.13330.2016.

1). Первая задача настоящего исследования решена применением методов кинетики полного квадрата исходного модуля, которые позволят утвердить проекты трёхлучевых жилых секций для использования работниками бюджетной сферы, претендующих на получение льготного социального ипотечного кредита, предусмотренного действующим законодательством.

2) Решение второй задачи исследования в виде создания единого графического алгоритма построения граничных параметров МЖС, применимый в 4-х нормативных типах уровня комфорта квартир, решено с сохранением граничных параметров материнской жилой секции. Вторая задача исследования использует нормативные три типа заселения квартир, изложенные в Своде правил 42.13330.2016. В формулах трёх типов заселения коэффициент «К» означает количество жилых комнат в квартире, а коэффициент «N» означает количество проживающих в квартире. Размер полного квадрата исходного модуля во всех типах уровня комфорта квартир указан с учётом включения в него площадей конструкций с нормативным размером опирания на них плит перекрытий, перегородок и вентиляционных блоков. Указанная площадь конструкций составляет около 8,7% от площади исходного модуля. Расшифруем итоговые планировочные результаты, связанные с формулами трёх типов заселения, которые без дополнительного проектирования сохраняют граничные параметры материнской жилой секции:

2.1). Уровень комфорта квартир типа «муниципальный», с установленной общей площадью квартиры на человека в 20,0 кв. м. и формулой заселения $K = N - 1$ приобрёл минимальный размер исходного модуля в 6900 мм. Указанный исходный модуль создаёт в лестнице МЖС ТЛОПС следующие граничные параметры пространства: 20 ступеней с высотой этажей не более 3000 мм. При этом сохраняется резерв для увеличения высоты этажа до 3300 мм и 22 ступеней в маршах лестниц.

2.2). Уровень комфорта квартир типа «эконом», с установленной общей площадью квартиры на человека в 30,0 кв. м, сохраняет минимальный размер полного квадрата исходного модуля в 6900 мм, изменяя формулу заселения на $K = N$.

2.3). Уровень комфорта квартир типа «бизнес», с установленной общей площадью квартиры на человека в 40,0 кв. м, сохраняет минимальный размер полного квадрата исходного модуля в 6900 мм при формуле заселения $K = N + 2$ и $K = N + 1$. Разница между

формулами заселения решается за счёт использования или ликвидации резервной площади лоджий.

3). Третья задача настоящего исследования в виде определения минимального количества подобий исходного модуля, которые можно использовать на последующих стадиях проектирования разных типов дочерних жилых секций, решена эмпирическим путём: найден графический алгоритм геометрического построения граничных параметров трёх комбинаторных блоков материнской жилой секции с семью методами алгоритмов кинетики элементов полного квадрата исходного модуля. Методы расшифрованы разделом «Материалы и методы» настоящей статьи. Алгоритм подтвердил гипотезу о повторяющихся размерах элементов пространств материнской жилой секции. Выявлено шесть подобий полного квадрата исходного модуля, расшифрованных ниже (рис.2).

3.1). Размер диагонали полного квадрата исходного модуля, обозначенный буквой «Ж» над размерной линией, повторяется в торцовых стенах трёх комбинаторных блоков.

3.2). Размер полного квадрата исходного модуля, обозначенный буквой «А» над размерной линией, повторяется в виде диагоналей двух квадратов, помещающихся в торцовом конструктивном пролёте трёх комбинаторных блоков.

3.3). Размер отрезка, обозначенный буквой «Г» над размерной линией, устанавливающий с двух сторон лифтовой шахты ширину входов в жилую секцию, появляется ещё на трёх сторонах двух периферийных комбинаторных блоков.

3.4). Ширина лестнично-лифтового узла, обозначенная буквой «В» над размерной линией, равна ширине прямоугольной гостиной комнаты и пятиугольному пространству в двух периферийных комбинаторных блоках: Западном и Восточном.

3.5). Три комбинаторных блока поворотной жилой секции имеют граничные размеры подобия полного квадрата исходного модуля, обозначенные буквой «И» над размерной линией (рис.4).

3.6) Размер «И» подобия полного квадрата исходного модуля состоит из двух комбинаций размеров внутренних пространств комбинаторных блоков: «Ж» + «Д» или «Е» + «Г». Первая комбинация размеров относится к глухому торцу комбинаторных блоков. Вторая комбинация размеров относится к одной из фасадных стен комбинаторных блоков.

Решение второй и третьей задач исследования создаёт двухэтапный мультипликативный алгоритм кинетики полного квадрата исходного модуля. На первом этапе проектирования алгоритм формирует граничные параметры материнской жилой секции. На втором этапе проектирования алгоритм кинетики элементов материнской жилой секции формирует множество типов дочерних жилых секций [3].

Подтвердилась гипотеза о том, что граничные координационные оси МЖС ТЛОПС образуют квадрат в осях «D1-D9» и «F2-F10» (рис.1). Но только в случае применения семи методов кинетики исходного квадратного модуля, граничные размеры которого соответствуют одному из четырёх типов уровней комфорта квартир, расшифрованных в разделе «Материалы и методы» настоящей статьи.

Применение методов геометрического подобия и кинетики исходного квадратного модуля с граничными размерами выбранного уровня комфорта квартир, позволяют запроектировать точное блокирование жилых секций в полигональную сетку жилой застройки. Указанный результат возможен только при условии, когда «У» - образной жилой секции координационные оси «D5» и «F5» являются продолжением осей внутренних стен Центрального комбинаторного блока, превращаясь в оси фасадных стен периферийных комбинаторных блоков, пересекаясь в одной точке на оси диссимметрии, указанной жилой секции.

4. Обсуждение

В настоящем разделе статьи принято обсуждать предполагаемые направления дальнейших научных поисков, которые обогатили бы тему настоящего исследования.

Первая тема обсуждения – необходимость утверждения норматива по включению в планировочную структуру жилых секций поэтажного «Автономного пространства оборудования, регулирующего энергоресурсы квартир» (АПОРЕК), вынесенного за пределы квартир жилых зданий. Предлагаемое пространство необходимо эксплуатирующими службам жилых зданий, а также инспектирующим и аварийным

службам поселений. АПОРЭК предлагается разместить на промежуточных площадках лестнично - лифтовых узлов, выполняя их конструкцию из водоотталкивающего, негорючего и прочного материала –магнезита [13].

Вторая тема обсуждения: влияние геометрической конфигурации жилого двора на энергоэффективность квартир, расположенных в разных азимутальных его секторах. Исследования учёных азиатских стран доказывают энергоэффективность рассматриваемого архитектурного решения для жаркого климата [14]. Гипотеза зеркальности рассматриваемого архитектурно - планировочного решения изолированного жилого двора для зимнего климата России ещё требует отдельного изучения.

Третья тема обсуждения: эволюция функциональных и социо - культурных аспектов жилых дворов в период реновации территорий в границах исторических поселений [15].

Четвёртая тема обсуждения: о применимости термина «энергоэффективное проектирование» для научных методов, используемых в архитектурном проектировании, которые позволяют сократить время проектирования, сославшись на известную аксиому Гейзенберга: «...энергия и время считаются канонически сопряжёнными величинами...» (формула 33.6) [16].

5. Заключение

1. Первая задача второго этапа настоящего исследования решена в виде точного размера полного квадрата исходного модуля в 6900 мм, удовлетворяющего нормам площади четырёх типов уровня комфорта квартир, установленных российским Сводом правил 42.13330.2016. Задача расшифрована в настоящей статье разделом «Результаты» настоящей статьи

2. Вторая задача настоящего исследования решена в виде семи геометрических методов создания точных граничных параметров трёх комбинаторных блоков материнской жилой секции, с использованием теорий кинетики и геометрического подобия, применяемых к исходному модулю, расшифрованных в настоящей статье разделом № 2 - «Материалы и методы»

3. В связи с использованием методов кинетики полного квадрата исходного модуля, получено шесть его геометрических подобий размеров, которые можно использовать до начала проектирования жилой группы.

4. Граничные параметры жилых секций, запроектированных для квартир жилой секции муниципального типа, позволяют создать в пространстве проветриваемого технического подполья трёхуровневой механический паркинг, с количеством автомашин, соответствующих количеству квартир в жилой секции. В отличие от традиционных 2-х лучевых жилых секций, граничные параметры представленной трёхлучевой жилой секции позволяют автомобилям совершать манёвры паркования, вплоть до разворота и трёх выездов на её противоположные стороны

5. Использование запатентованного универсального железобетонного ригеля «Нуртамаг» позволяет выполнять перепланировку квартир на желаемом этаже. В том числе изменять типологию квартир. При этом предлагается использовать представленные в настоящем исследовании методы кинетики элементов жилой квартиры и секции. Как во время проектирования, так и во время эксплуатации жилых секций.

Список литературы/ References

1. Hassan Akbari. Analysis of the geometric and natural properties of courtyards in historical houses of Isfahan. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. P 01. 2021 // <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1971674>
2. Nureyev Tagir, Popov Anton. Perspectives for using a three-beam space-planning structure in creating residential grid structure development // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. P. 012004 // DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012004
3. Nureyev Tagir, Popov Anton. Methodology for creating a residential three rayed space-planning structure // E3S Web Conf., 274 (2021) 01037. <https://DOI.org/10.1051/e3sconf/202127401037>

4. Федчун Д.О., Тлустый Р.Е. Сравнительный анализ методов параметрического, информационного и генеративного архитектурного проектирования // Вестник инженерной школы ДВФУ [Fedchun D.O., Tlusty R.E. Comparative analysis of parametric, informational and generative architectural design methods // Bulletin of the FEFU Engineering School]. 2018. № 01 (34). 30.03.2018. С 103-115.
<http://DOI.org/10.5281/zenodo.1196721>
5. Johannes Wallner · Helmut Pottmann. Geometric computing for freeform architecture // Journal of Mathematics in Industry (2011) 1:4. Р 1-19 // DOI 10.1186/2190-5983-1-4
6. Шевченко М.Ю. Круг и квадрат как основа геометрических построений планировок центральных сооружений в архитектуре Китая [Shevchenko M.Yu. Circle and square as the basis of geometric constructions of the layouts of centric structures in the architecture of China]. AMIT 2(55) 2021. С 79 // DOI: 10.24412/1998-4839-2021-2-77-91
7. Сальков Н.А. Введение в кинетическую геометрию. Инфра – М [Salkov N.A. Introduction to kinetic geometry. Infra - M]. М. С 6-10. 2019 // http://dx.DOI.org/10.12737/monography_5c456679c12131.33801043
8. В.А. Клячин. Алгоритм триангуляции, основанный на условии пустого выпуклого множества // Вестник ВГУ [Klyachin V.A. Triangulation algorithm based on the condition of an empty convex set // Bulletin of the VSU]. Вып.3(28), С 27-33. 2015 // <https://DOI.org/10.15688/jvolsu1.2015.3.3>
9. Сборный железобетонный каркас: пат 132814 Рос. Федерация [Precast reinforced concrete frame: patent 132814 Ros. Federation] 2013107055/03; заявл. 18.02.13; опубл. 27.09.13, Бюл. № 27 // <http://poleznayamodel.ru/model/13/132814.html> (дата обращения 14.03.2022)
10. Железобетонный каркас с плоским перекрытием: пат 130328 Рос. Федерация [Reinforced concrete frame with a flat floor: patent 130328 Ros. Federation]. № 2013107051/03; заявл. 18.02.13; опубл. 20.07.13, Бюл. № 20 // <https://poleznayamodel.ru/model/13/130328.html> (дата обращения 14.03.2022)
11. Жидкая теплоизоляция Re-therm [Liquid thermal insulation Re-therm]// inn-t.com: сайт INN-T GROUP. 2021 /URL: <https://inn-t.com/zhidkaya-teploizolyatsiya-re-therm> (дата обращения 14.03.2022)
12. KLAUS Multiparking // multiparking.com: сайт KLAUS Multiparking. 2021 /URL: <https://multiparking.com/en/products/> (дата обращения 14.03.2022)
13. СМЛ // volna.pro: сайт фирмы ВОЛНА [Glassmagnesite sheet GMS //volna.pro : VOLNA company website]. 2021 / URL: <http://volna.pro/sml-parametry.html> (дата обращения 14.03.2022)
14. Abdulbasit Almhafdy. Impacts of Courtyard Geometrical Configurations on Energy Performance of Buildings. AMER International Conf. on Quality of Life. Wina Holiday Villa. 2019 // <https://DOI.org/10.21834/e-bpj.v4i10.1637>
15. Айдарова Г.Н. Деревянные жилые кварталы Казани. // Жилищное строительство [Aidarova G.N. Wooden residential quarters of Kazan. // Housing construction] № 12. 2018. С. 45 // <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36694011> (дата обращения 14.03.2022)
16. Принцип неопределённости Гейзенберга. // Helpiks.org: интернет-помощник. [Heisenberg's uncertainty principle. // Helpiks.org: internet assistant] 2016. // URL: <https://helpiks.org/7-1348.html> (дата обращения 17.05.2022).

Информация об авторах

Тагир Магданурович Нурсев, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

E-mail: ntm60@mail.ru

Антон Олегович Попов, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

E-mail: a.o.popov@yandex.ru

Динара Тагировна Нуреева, ведущий архитектор, ООО «Зодчество», г.Казань,
Российская Федерация
E-mail: dinara904@yandex.ru

Information about the authors.

Tagir M. Nureyev, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: ntm60@mail.ru

Anton O. Popov, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
Email: a.o.popov@yandex.ru

Dinara T. Nureyeva, lead architect, LLC «Zodchestvo», Kazan, Russian Federation
Email: dinara904@yandex.ru

УДК: 72.02

DOI: 10.52409/20731523_2022_2_59

EDN: CMHOGD



Нейроархитектура: архитектура, влияющая на чувства людей

Р.К.Мухитов¹, А.Э.Гордеева¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г.Казань, Российская Федерация

Аннотация *Постановка задачи.* В настоящей статье рассматривается одна из современных тенденций – сенсорный подход к архитектурному проектированию, как решение проблем, вызванных глобализацией. Сегодня городская среда негативно влияет на человека, в результате чего у людей появляются следующие проблемы: стресс, депрессия, снижение иммунитета и пр. Для снижения негативного влияния городской среды на человека и его вышеупомянутых последствий требуются новые подходы к архитектурному проектированию, с помощью которых, архитектор сможет учитывать чувства человека и стимулировать его к различной деятельности. Сегодня отечественные теоретики и практики архитектуры стремятся к данному подходу интуитивно, тогда как за рубежом данная тема является более актуальной и научно обоснована в трудах Ю.Палласмаа, Ч.Спенса, А.Перес-Гомеса и Дж.П.Эберхарда. Признано влияние нейробиологии¹ на архитектуру, так как нейробиология дает нам понимание того, как мозг человека, его тело и здание взаимодействуют. Используя данные нейробиологии в проектировании, появилось интригующее современных архитекторов направление «нейроархитектура²». Целью данной статьи является оценка роли нейроархитектуры, как инструмента архитектурного проектирования, с целью повлиять на человека, его здоровье, поведение, способности и благополучие. Задачами данного исследования являются: оценка влияния нейробиологии на архитектуру; определение термина «нейроархитектура»; выявление роли каждого чувства, а также их комплекса для архитектурной практики.

Результаты. В ходе данного исследования определено влияние открытия нейробиологии – мозг человека пластичен и способен меняться в ответ на окружающую среду – на архитектуру. Архитектурную среду, разработанную согласно принципам нейробиологии называют «нейроархитектурой». Установлено, что нейроархитектура – это новый инструмент архитекторов, позволяющий проектировать качественные пространства, способные улучшить жизнь людей, осознанно и научно обосновано. Также в данном исследовании проанализированы как базовые чувства человека, так и проприоцепция в качестве шестого чувства. Важно отметить, что человек всегда испытывает комплекс чувств, поэтому особо актуальным стал мультисенсорный подход к архитектурному проектированию, учитывающий весь спектр чувств человека в совокупности.

Выводы. Значимость полученных результатов состоит в теоретическом и практическом осмыслении зарубежного опыта формирования архитектуры с помощью нейробиологии – нейроархитектуры. Знания о нейроархитектуре могут повысить качество архитектурных решений, что снижает негативное влияние городской среды на человека, а также

¹ Нейробиология – наука, изучающая устройство, функционирование, развитие, генетику, биохимию, физиологию и патологию нервной системы. Нейробиология объединила области анатомии, физиологии, фармакологии, психологии, медицины и поведения с биологией, иммунологией, генетикой, молекулярной биологией, химией, физикой, электроникой и искусственным интеллектом [1].

² Нейроархитектура – дисциплина, охватывающая область психологии окружающей среды, исследования нервной, эндокринной и иммунной систем. Нейроархитектуру характеризуют, как застроенную среду, разработанную с учетом принципов нейробиологии [4].

способствует повышению эффективности человеческой деятельности, его самочувствию и высокому качеству жизни.

Ключевые слова: нейробиология, нейроархитектура, архитектура, сенсорность, чувства, мультисенсорный дизайн

Для цитирования: Мухитов Р.К., Гордеева А.Э. Нейроархитектура: архитектура, влияющая на чувства людей//Известия КГАСУ 2022 № 2(60). С59-71,
DOI: 10.52409/20731523_2022_2_59 EDN: CMHOGD

Neuroarchitecture: architecture that affects people's feelings

R.K.Mukhitov¹, A.E.Gordeeva¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* This article discusses one of the current trends – a sensory approach to architectural design, as a solution to the problems caused by globalization. Today, the urban environment negatively affects people, because of which people have the following problems: stress, depression, decreased immunity, etc. To reduce the negative impact of the urban environment on humans and its aforementioned consequences, new approaches to architectural design are required, with the help of which, the architect will be able to take into account the feelings of a person and stimulate him to various activities. Today, domestic theorists and practitioners of architecture strive for this approach intuitively, while abroad this topic is more relevant and scientifically substantiated in the works of J.Pallasmaa, C.Spence, A.Perez-Gomez and J.P.Eberhard. The influence of neuroscience on architecture recognized, as neuroscience gives us an understanding of how the human brain, body, and building interact. Using the data of neurobiology³ in the design, an intriguing direction for modern architects “neuroarchitecture”⁴ has appeared. The purpose of this article is to evaluate the role of neuroarchitecture as an architectural design tool in order to influence a person, his health, behavior, abilities and well-being. The objectives of this study are: to assess the impact of neuroscience on architecture; definition of the term "neuroarchitecture"; revealing the role of each feeling, as well as their complex for architectural practice.

Results. In the course of this study, the influence of the discovery of neuroscience was determined - the human brain is plastic and able to change in response to the environment - to architecture. An architectural environment designed according to the principles of neuroscience is called "neuroarchitecture". It has been established that neuroarchitecture is a new tool for architects that allows them to design high-quality spaces that can improve people's lives, consciously and scientifically substantiated. Also in this study, both basic human senses and proprioception as a sixth sense are analyzed. It is important to note that a person always experiences a complex of feelings, therefore, a multi-sensory approach to architectural design has become especially relevant, taking into account the entire range of human feelings in the aggregate.

³ Neurobiology – a science that studies the structure, functioning, development, genetics, biochemistry, physiology and pathology of the nervous system. Neurobiology has combined the fields of anatomy, physiology, pharmacology, psychology, medicine, and behavior with biology, immunology, genetics, molecular biology, chemistry, physics, electronics, and artificial intelligence [1].

⁴ Neuroarchitecture – a discipline covering the field of environmental psychology, the study of the nervous, endocrine and immune systems. Neuroarchitecture characterized as a built environment designed according to the principles of neuroscience [4].

Conclusions. The significance of the results obtained lies in the theoretical and practical understanding of foreign experience in the formation of architecture with the help of neurobiology - neuroarchitecture. Knowledge of neuroarchitecture can improve the quality of architectural solutions, which reduces the negative impact of the urban environment on a person, also improves the efficiency of human activity, its well-being and high quality of life.

Key words: neurobiology, neuroarchitecture, architecture, sensory, senses, multisensory design

For citation: Mukhitov R.K., Gorgeeva A.E. Neuroarchitecture: architecture that affects people's feelings//News KSUAE 2022 № 2(60). с. 59-71,
DOI: 10.52409/20731523_2022_2_59 EDN: CMHOGD

1. Введение

Архитектура появилась как средство защиты, укрытие от окружающей среды, постепенно преобразовалась в форму искусства, куда были введены субъективность, творчество и красота [1]. Архитектор, архитектурный критик З.Гидеон в своем труде «Пространство. Время. Архитектура» отмечал: «На протяжении истории архитектуры существуют две разные тенденции. Одна, развивающаяся в сторону рационального, другая – в сторону эмоционального и органического восприятия окружающей среды. Таковы два различных пути к решению пространства».

Насыщенность и многогранность чувственного восприятия отличает историческую среду древних городов и народную архитектуру. Ф.Л.Райт, А.Аалто, Р.Пиетияла, Ю.Палласмаа, С.Холл, К.Кума – архитекторы, шедшие по пути эмоциональной и органической архитектуры, чья архитектура была создана в гармонии с природой и человеческим телом. Эмоциональный подход воплощен в ряде сооружений, но никогда не был сформулирован как единое направление в архитектуре. Ю.Палласмаа – финский архитектор, архитектурный критик, предложил термин «хрупкая архитектура» – архитектура, обладающая эстетической толерантностью и гостеприимством. Характеристиками такой архитектуры становятся: чувственность, контекстуальность, эстетическая хрупкость. Так, появился термин «сенсорная архитектура» (от англ. «sense» – ощущения, чувства). Широко употребляет определение «сенсорности городской среды» К.Линч в своем труде «Образ города», название которого подчеркивает, что человек воспринимает архитектуру и город не только глазом, но и «ухом, носом, кожей, языком, скелетом и мышцами», так как архитектура может вызвать у человека богатые эмоциональные переживания и впечатления [2].

XX век характеризуется рациональностью, оторванностью архитектурных пространств от природного контекста и социума. Все больше людей начали перебираться в города, появилась необходимость обеспечить людей жильем. Городская среда стала более утилитарной, менее выразительной, что повлекло за собой определенные последствия: возросли показатели тревожности, стресса и депрессии жителей [3]. Известно, что хронический стресс может привести к проблемам психического и физического здоровья: беспокойство, бессонница, депрессия, ослабление иммунитета и мышечные боли, а также сокращение продолжительности жизни [1].

Поскольку стресс стал наиболее заметным фактором современной жизни, а последствия стресса для здоровья хорошо известны, для борьбы с ним используются такие стратегии, как психологическая терапия, медитация, лекарства и т.п. При этом существует много противоречивых мнений о том, какой из вышеперечисленных методов наиболее эффективен, но все согласны с тем, что снижение стресса возможно. Именно здесь архитектурный, интерьерный дизайн и их положительное воздействие стали наиболее актуальной темой современности [1].

До недавнего времени мало что было известно о том, как взаимодействуют человеческий мозг, тело и здание. На протяжении веков архитекторы полагались на интуицию и свой опыт при создании среды, влияющей на людей. Сегодня

нейробиология⁵ дает нам понимание того, как мозг контролирует деятельность тела, влияя на то, как мы думаем, движемся, воспринимаем и запоминаем. Нейронная пластичность – одно из свойств человеческого мозга, которое демонстрирует, как мозг меняется в ответ на окружающую среду. «Архитектура воображается и, будучи построенной, формирует нас» – признано Академией нейробиологии (ANFA)⁶, миссия которой «способствовать и продвигать знания, связывающие исследования в области неврологии с растущим пониманием реакции человека на искусственную среду» [4].

Пространство, окружающее человека, воздействует на психическое и физическое здоровье индивида, формирует его мировоззрение, идентичность, принадлежность к социуму [5]. Городская среда и архитектура может усугубить или минимизировать угрозы благополучия людей. Важно, как выглядят здания, улицы, районы не только с эстетической и психологической точки зрения [3], но и с точки зрения нейроархитектуры.

Целью данной статьи является оценка роли нейроархитектуры, как инструмента архитектурного проектирования, с целью повлиять на человека, его здоровье, поведение, способности и благополучие. Для достижения поставленной цели в исследовании решается ряд задач: оценка влияния нейробиологии на современную архитектуру; определение термина «нейроархитектура»; выявление роли человеческих чувств для архитектурной практики как при индивидуальном рассмотрении, так и в совокупности.

2. Материалы и методы

В качестве материалов исследования были использованы зарубежные литературные источники по архитектуре, городской среде, психологии и нейроархитектуре, а также междисциплинарные исследования в данных областях. Основными зарубежными источниками для данного исследования выбраны, впервые переведены следующие труды: Ritchie I. *Neuroarchitecture: Designing with the Mind in Mind* (2020), Spence C. *Senses of place: architectural design for the multisensory mind. Cognitive Research. Principles and Implications.* (2020), John P. Eberhard. *Architecture and the Brain: A New Knowledge Base from Neuroscience Paperback* (2007).

Методика исследования позволяет понять какая связь существует между чувствами человека и архитектурой, городской средой. Не только по отдельности, но и во взаимосвязи они могут изменить традиционное понимание влияние архитектуры на формирование комфортного городского пространства – решить проблему неудачной архитектуры, отсутствие «уютности», узнаваемости места, сохранить идентичность и восстановить историческую память отдельных территорий города и т.д. Таким образом, можно утверждать, что это и есть новое направление в архитектурном проектировании.

3. Результаты

Архитектура и нейробиология были двумя несовместимыми науками, пока не было обнаружено, что человеческий мозг пластичен и способен меняться в ответ на окружающую среду. Нейробиология объясняет, как физическая среда влияет на человеческое познание, способность решать проблемы и настроение человека. Нейроархитектуру характеризуют, как застроенную среду, разработанную с учетом принципов нейробиологии [6]. Сегодня мы все еще далеки от разработки конкретных проектов, управляемых исключительно мозгом будущих пользователей пространства, но исследования в области нейроархитектуры описывают модели общего поведения человека, когда он сталкивается с определенными стимулами и как реагирует на них: температура – важна для создания комфортной среды, что улучшает когнитивные

⁵ Нейробиология – наука, изучающая устройство, функционирование, развитие, генетику, биохимию, физиологию и патологию нервной системы. Нейробиология объединила области анатомии, физиологии, фармакологии, психологии, медицины и поведения с биологией, иммунологией, генетикой, молекулярной биологией, химией, физикой, электроникой и искусственным интеллектом [4].

⁶ Академия нейробиологии (ANFA) – некоммерческая организация, основана в 2003 г. Американским институтом архитекторов (AIA). ANFA стремится к сотрудничеству между нейробиологами и архитекторами для изучения научных методов диапазона человеческого опыта с элементами архитектуры, для организации и проверки информации, полученной в результате этого сотрудничества, и для распространения.

способности⁷ и эмоциональность; освещение – влияет на настроение и активность, теплый свет снижает уровень стресса; цвета – воздействуют на разные области мозга и влияют на настроение, теплые цвета улучшают производительность и концентрацию; запахи – способствуют расслаблению; кривые линии – помогают расслабиться [7].

Нейроархитектура – дисциплина, охватывающая область психологии окружающей среды, исследования нервной, эндокринной и иммунной систем. Применение знаний о нейроархитектуре на практике заключается в создании среды, стимулирующей или подавляющей определенные паттерны⁸ поведения человека, в зависимости от цели архитектурного пространства. Архитекторы, использующие прикладную нейронауку, могут проектировать с целью влияния на поведение людей. С практической точки зрения нейроархитектуру необходимо использовать для повышения эффективности человеческой деятельности и, прежде всего, для создания более здоровых пространств в краткосрочной или долгосрочной перспективе. Таким образом, главный принцип нейроархитектуры – повышение качества жизни и благополучия людей [8].

Нейроархитектура – еще один инструмент для архитекторов, который может помочь нам проектировать города будущего, улучшающие здоровье и социальные отношения [7]. Для того, чтобы лучше понять связь между архитектурой и нейробиологией, оценить возможности нейроархитектуры необходимо проанализировать чувства человека, которые он испытывает каждый день [6].

Зрение. Архитектурная практика, как правило, ориентирована на органы зрения. Архитекторы создают объекты, ориентируясь на визуальное восприятие, полагаясь на законы архитектурной композиции. Канадский дизайнер Б.Мау отмечал: «Мы позволили двум нашим сенсорным областям — зрению и звуку — доминировать в нашем дизайнерском воображении. На самом деле, когда дело доходит до культуры архитектуры и дизайна, мы создаем и производим почти исключительно для одного чувства — визуального» [4]. Такое визуальное доминирование имеет объяснение в нейробиологии. М.Хейлиг, изобретатель Sensorama, первого в мире мультисенсорного аппарата виртуальной реальности расположил порядок, в котором, по его мнению, захватывается внимание человека: зрение – 70%, прослушивание – 20%, обоняние – 5%, прикосновение – 4%, вкус – 1% [9]. Ю.Палласмаа отмечал: «Вместо того, чтобы воспринимать архитектуру просто как визуальные образы, мы сканируем окружающее пространство ушами, кожей, носом и языком».

Таким образом, в последние десятилетия все больше архитекторов и дизайнеров начали учитывать роль других органов чувств в своих проектах, а именно звука, осязания, обоняние, в редких случаях, даже вкус.

Прослушивание. Под звуком понимается «слуховое ощущение, вызываемое действием механических колебаний окружающей среды: то, что слышим, воспринимаем нашим органом слуха», «ощущения, вызываемые действием волн на орган слуха человека и животных». Сегодня в условиях быстрой урбанизации городов исследования сосредоточены на одном аспекте звука, а именно, понятии «шума» или «нежелательного шума». Известно, что шум уличного движения, поездов или предприятий наносит вред человеческому здоровью на душевном и физическом уровнях. Под влиянием шума изменяется общее состояние человека – появляются утомляемость, раздражительность, ухудшается сон [10]. Шум также влияет на способность принимать решения, на кратковременную память и на способность контролировать эмоции [3]. Канадский композитор, писатель и музыкальный педагог, более известный как автор книги *The Tuning of the World* (1977) Р. Мюррей Шафер отметил: «Современный архитектор проектирует для глухих... Изучение звука входит в современные архитектурные школы

⁷ Когнитивные способности – высшие функции мозга, которые обеспечивают человеку возможность быть человеком. К ним относятся мышление, пространственная ориентация, понимание, вычисление, обучение, речь, способность рассуждать. Первыми признаками снижения этих способностей являются нарушения внимания и памяти. Если состояние продолжает ухудшаться, то могут появиться признаки, говорящие о слабых когнитивных нарушениях, может развиваться деменция.

⁸ Паттерн (в психологии) – определенный набор, шаблон поведенческих реакций или последовательностей стереотипических действий, поэтому относительно любой области, где человек применяет шаблоны, можно говорить о паттернах. Простыми словами паттерн – повторяющийся шаблон поведения человека [8].

только как уменьшение, изоляция и поглощение звука» [9]. Таким образом, сегодня внимание архитекторов приковано к вопросам шумового загрязнения, которое опасно для здоровья людей. При этом, Парк Палей в Нью-Йорке (Рис. 1) демонстрирует особенно элегантное решение проблемы подавления дорожного шума в контексте городского дизайна, спроектированный согласно принципам нейроархитектуры: наличие водопада в дальнем конце участка маскирует звуки города, а густо растущая роща вдоль боковых стен помогает поглощать городской шум [9].

Существуют звуки, которые положительно влияют на человека, такие как, тихий шелест листвы, журчанье ручья, птичьи голоса, легкий плеск воды и шум прибоя [11]. Музыка же является сложной формой аудиальной информации [12] и способна вызывать экстаз, энтузиазм, возбуждать агрессию, облегчать или выражать чувства, налаживать связь, совершать исцеление и т.д. Установлено, что музыка расширяет объем внимания, снижает стресс, способствует самовыражению, стимулирует ассоциации и образы воображения, способствует процессу запоминания [10].



Рис. 1. Парк Палей, арх. бюро Zion Breen Richardson Associates
Fig. 1. Paley Park, arch. bureau Zion Breen Richardson Associates

(<https://pragmatika.media/>)

Как звучит пространство, несомненно, важно. Звуки могут давать тонкие подсказки относительно идентичности и пропорций пространства, даже намекая на его функцию. Как отмечает Ю.Палласмаа [13]: «Каждое здание или пространство имеет свой характерный звук близости или монументальности, отказа или приглашения, гостеприимства или враждебности» [4].

Обоняние. Обоняние в практике архитектурного дизайна сосредоточилось на устранении неприятных запахов. Сегодня многие пространства намеренно спроектированы так, чтобы не иметь запаха, не оставлять каких-либо стойких обонятельных следов. Известный архитектор Ле Корбюзье в своих проектах старался сводить запахи на нет, например, в вилле Савойя (1931г.) в Пуасси на окраине Парижа. При этом, доказано, что обонятельный элемент дизайна может быть использован для положительного воздействия на человека: люди чаще занимаются уборкой, когда чувствуют цитрусовые запахи; лаванда и другие ароматы, связанные с ароматерапией, снижают стресс, улучшают сон и благотворно влияют на более быстрое восстановление человека после болезни. Также известно, что каждое пространство имеет свой запах. Дж.П.Эберхард, научный сотрудник Latrobe и президент-основатель Академии нейробиологии архитектуры писал: «У всех нас есть свои любимые запахи в здании, а также те, которые считаются вредными. Кедровый шкаф в спальне — простой пример хорошего запаха. Ужасный запах дома, опустошенного пожаром или наводнением, остается в памяти тех, кто пережил одно из этих бедствий» [14]. В свою очередь, Ю.Палласмаа отмечал: «Самое сильное воспоминание о пространстве часто — это его

запах; Я не могу вспомнить внешний вид двери дедовской усадьбы из раннего детства, но помню устойчивость ее веса, патину деревянной поверхности, изуродованную полувековой эксплуатацией, и особенно помню запах дома, который ударил меня в лицо невидимой стеной за дверью» [13].

Так, запахи способны порождать чувства на уровне подсознания, вызывать различные эмоции, возвращать нас к определенным воспоминаниям и ассоциациям. С помощью различных ароматов человек способен идентифицировать себя. Сегодня можно составить свой неповторимый аромат, который поможет человеку чувствовать себя комфортно как наедине с собой, так и в обществе. Также люди склонны приспосабливаться к положительным или нейтральным запахам в зданиях. Об этом свидетельствует тот факт, что мы осознаем запах собственного дома после долгого путешествия [15]. Сегодня широкое распространение имеют аромадиффузоры – устройства, позволяющие ароматизировать внутренне пространство дома или офиса, которые можно выбрать согласно своим личным предпочтениям.

В архитектурной практике известны примеры преднамеренно введенных ароматов в конструкции зданий. В 2013 году при открытии арены Barclays Center в Бруклине, штат Нью-Йорк, в прессе отметили характерный, хотя и не сразу идентифицируемый аромат, который, казалось, пронизывал все пространство и был добавлен преднамеренно, как если бы он был задуман как фирменный аромат [16]. Тем не менее ароматизация общественных пространств восходит как минимум к 1913 году, когда на открытии кинотеатра Marmorhaus в Берлине по всему зданию был преднамеренно разнесен аромат под названием «Маргерит Карре» от Bourjois of Paris [4]. Одним из зданий, которое часто упоминается с точки зрения своего обонятельного дизайна, является Силиконовый дом архитекторов Selgas Cano, расположенный на окраине Мадрида. Этот дом расположен в «саду запахов». Идея целебного сада возродилась в последние годы, и его польза сконцентрирована вокруг восстанавливающего эффекта запаха цветов и растений. Обонятельные пейзажи и карты запахов городов, которые обсуждались различными исследователями, также помогли привлечь внимание людей к часто богатым обонятельным ландшафтам, предлагаемым многими городскими пространствами [9].

Следовательно, хотя обонятельные аспекты практики архитектурного дизайна долгое время игнорировались, сегодня наблюдаются признаки возрождения интереса к стимулированию этого чувства через практику архитектурного и городского дизайна [9]. Приведенные примеры демонстрируют интригующие возможности для архитектуры и городского планирования. Дизайнеров учат в основном сосредотачиваться на визуальном, но нейронаука может значительно расширить сенсорную палитру дизайнеров [17], так как обоняние способно вызывать эмоции на уровне подсознания человека.

Прикосновение. Важный инструмент получения информации и источник определенных переживаний и ощущений – касание (тепло, холод, сухость, влажность, интересная фактура, пористость, компактность) [18]. Тактильная коммуникация в архитектуре часто игнорируется, хотя первый физический контакт со зданием происходит, когда мы заходим в него. Дверную ручку, по мнению Ю.Палласмаа, можно назвать «рукопожатием здания». Оказавшись в здании, мы контактируем с полом, кнопками лифта, ограждениями мебелью и т.п. Автор книги «Плоть и камень» Р.Сеннет в своем критическом взгляде на сенсорный порядок современности отмечал: «сенсорная депривация, которая, кажется, проклинает большинство современных зданий; скука, однообразие и тактильная бесплодность, от которых страдает городская среда» [19]. Отсутствие тактильного интереса также упоминает В.Рыбчинский, автор книги «Образ архитектуры»: «Хотя архитектура часто определяется с точки зрения абстракций, таких как пространство, свет и объем, здания — это, прежде всего, физические артефакты. Опыт архитектуры ощутим: текстура дерева, поверхность мрамора с прожилками, холодная точность стали, фактурный рисунок кирпича» [20].

Использование выразительных свойств различных фактур и материалов усиливает сенсорное восприятие и насыщает ассоциативное мышление человека. Фактура дерева дает ощущение тепла, камень – холод, металл и неоштукатуренный бетон ассоциируется с чем-то производственным и технологичным. Французский философ Г.Башляр считает,

что образы, происходящие от материалов, создают более глубокий и проникновенный опыт, в отличие от формы здания. Данное утверждение в кинематографе ярко продемонстрировал А.Тарковский, по его мнению, правда – в фактуре; не должно быть грима, костюмы должны быть не глаженные и не стиранные [2]. К.Линч считал, что умелое сочетание артефактов, принадлежащих разным периодам времени, сохранение их живыми и настоящими – ключ к насыщенной сенсорной городской среде, которая полна тайн и деталей [21]. Здесь важно отметить, что сегодня, в век технологического прогресса, архитекторы и дизайнеры часто применяют материалы, имитирующие натуральные, что неблагоприятно сказывается на впечатлениях человека от архитектуры и городской среды, так как для оценки качества материала не требуется прикосновение [9].

Таким образом, осязание является одним из значимых чувств человека, с помощью которого мы получаем информацию об окружающей нас среде, которую не увидят глаза. В следствии чего применение тактильных элементов является значимым, когда речь идет о социальном поведении человека, самоощущении, наслаждении и комфорте в здании. Проявление высшей степени выразительности материалов в архитектуре характерно для таких архитекторов, как К.Скарпа и П.Цумтор. Их работам свойственен не столько внешний лоск, сколько некая внутренняя напряженность [2].

Вкус. Дизайнер и писатель М.Л.Леман утверждает: «Архитектор должен выступать в роли композитора, организующего пространство для синхронизации функций и красоты посредством чувств, и то, как человеческое тело взаимодействует с пространством, имеет первостепенное значение. По мере того, как человеческое тело движется, видит, обоняет, осязает, слышит и даже ощущает вкус в пространстве, архитектура оживает». Несмотря на то, что дискуссии о вкусе относительно архитектуры, кажутся сомнительными, Дж.П.Эберхард в своей книге «Архитектура и мозг» говорит о том, какое отношение имеет чувство вкуса к архитектуре, предполагая, что «ресторан может повлиять на вашу «условную реакцию» на вкус еды» [22]. Когда снижается интенсивность визуального восприятия, обостряются остальные чувства. Именно поэтому многие рестораны избегают резкого света, давая возможность посетителям лучше ощущать вкус и аромат еды. Особым успехом пользуются заведения, где пища употребляется в полной темноте, а посетитель даже не знает, из чего состоит блюдо. Так, обычный прием пищи становится исследованием, где человек полностью сконцентрирован на своих вкусовых ощущениях [2].

Что же касается архитектуры, финский архитектор Ю.Палласмаа ярко описывал ощущение, которое ему удалось испытать: «Много лет назад, посещая резиденцию DL James Residence в Кармеле, штат Калифорния, спроектированную Чарльзом и Генри Гринами, я почувствовал необходимость встать на колени и коснуться языком деликатно сияющего белого мраморного порога входной двери. Чувственные материалы и искусно обработанные детали архитектуры К.Скарпа, а также чувственные цвета домов Л.Баррагана часто вызывают оральные переживания. Восхитительно окрашенные поверхности «stucco lustro», хорошо отполированные цветные или деревянные поверхности также предстают перед оценкой языка» [9]. Таким образом, архитектура может вызывать и усиливать вкусовые ощущения человека.

Проприоцепция. Шестое чувство. Ю.Палласмаа не стал останавливаться на традиционной пятерке чувств (зрение, слух, осязание, обоняние и вкус) и определил, что мышцы и скелет являются источниками дополнительных чувств. В последние годы данное мнение заинтриговало многих архитектурных теоретиков, напр. Bloomer & Moore (1977), Perez-Gomez (2016) [9]. Проприоцепция, также известная как кинестезия – мышечное чувство, ощущение положения частей тела или их движения относительно друг друга. Этот язык выражает «ощущенное» знание того, что человеческое тело воплощено: мы «думаем ногами», «устанавливаем зрительный контакт» и «касаемся предмета».

С.Холл отмечает: «Реализация идеи и ее проверка – в переживании архитектуры: что ты чувствуешь, проходя сквозь здание, как движется тело, как взаимодействует с другими телами, как работает свет, перспектива, звуки, запахи. Весь этот феноменологический слой должен вытекать из основной идеи». В своем проекте музея

современного искусства Киасма (Рис. 2) архитектор стремился проектировать не физическую форму, объем, пространство, а чувства, сам процесс восприятия. Так в музее воспринимающий переживает идею переплетения пространств не только концептуально, но телесно [23].

С проприоцептивным чувством человек встречается каждый день, при этом ярким примером можно назвать прозрачные смотровые площадки и мосты, ходьба по которым заставляет людей осознать свою собственную телесность, используя проприоцептивные и кинестетические чувства [9].

Мультисенсорное восприятие. Каждое чувство, его роль на архитектурную практику можно анализировать изолированно, однако, Ч.Спенс, руководитель лаборатории кроссмодальных исследований в Оксфордском университете выступает за более совершенную методологию проектирования, в основе которой лежит сенсорная конгруэнтность⁹. Одним из самых захватывающих достижений в области когнитивной нейробиологии за последние десятилетия является растущее осознание того, что восприятие и опыт являются гораздо более мультисенсорными, чем считалось ранее. То, что человек слышит и обоняет часто зависит от того, что он видит, и наоборот. Чувства постоянно влияют друг на друга, хотя человек часто не замечает этих перекрестных взаимодействий [9].



Рис. 2. Музей современного искусства Киасма, арх. С.Холл
Fig. 2. Museum of Contemporary Art Kiasma, arch. S. Hall
(Trevor.patt via flickr.com)

В 2019 году было проведено исследование, разработанное для сбора сенсорных сигналов, которые встречались в городской среде (звуки птиц, разговоры, движение транспорта, запахи цветов, кофе и хлеба). В исследовании наблюдался сложный набор взаимодействий, при этом преобладание одного из стимулов иногда повышало или ухудшало уровень комфорта участников. Данное исследование указывает на то, как ощущения звука и запаха взаимодействуют при оценке городской среды. Также было отмечено, что цвет и температура освещения влияют на воспринимаемую человеком температуру окружающей среды и тепловой комфорт. На практике это означает, что использование теплых цветов в помещении, а также теплого света может снизить затраты на отопление. Данные результаты можно оценить только с мультисенсорной точки зрения [9].

⁹ Конгруэнтность — равенство, адекватность друг другу различных экземпляров чего-либо) или согласованность элементов системы между собой. В психологии — согласованность информации, одновременно передаваемой человеком вербальным и невербальным способом [9].

Реакция человека на окружающую (естественную или искусственную) среду всегда является результатом совокупности влияния всех стимулируемых органов чувств. Наш мозг состоит из множества частей, каждая из которых выполняет свою роль. Понимание мозга человека может вдохновить архитекторов на разработку более качественных, последовательных, конструктивных и красивых искусственных сред, которые в свою очередь способны: улучшать качество образования, ускорять выздоровление от болезней, укреплять здоровье, повышать творческий потенциал, поощрять вежливость, сочувствие, сострадание и доверие в человеческих отношениях [24].

Ярким примером мультисенсорного дизайна в архитектуре служит фонтан Ира Келлер в Портленде, штат Орегон (Рис. 3). Здесь человек может испытать всю палитру чувств, включая кинестетические и обонятельные. Также, важно отметить, павильон Philips спроектированный для Экспо 1958 в Брюсселе офисом Ле Корбюзье. Аудиовизуальная среда интерьера была разработана Ле Корбюзье и Яннисом Ксенакисом. Из тех описаний, которые сохранились, было много цветных огней и проекций, а также циклический звуковой ландшафт, который реагировал на движение людей в пространстве [9].



Рис. 3. Фонтан Ира Келлер, арх. Л. Хэлприн
Fig. 3. Fountain Ira Keller, arch. L. Halprin
(<https://www.dwell.com/>)

4. Обсуждение

Известный американский архитектор С. Холл считает, что современная архитектура должна «учитывать движение человека в пространстве и погружать его в многослойный опыт, в котором пространство, свет, материалы, поверхности, цвет, геометрия, запах, звук ветра или падающей воды перекрещиваются» [2]. Нейроархитектура способствует пониманию того, как исследовательские и дизайнерские дисциплины могут направить процесс архитектурного проектирования к лучшему [4].

В данной статье рассмотрено становление нейроархитектуры как дисциплины, определен термин «нейроархитектуры», проведена оценка каждого из чувств, испытываемых человеком и способ влияния на них с помощью архитектуры.

Зрение. Данному чувству всю историю архитектуру уделялось много внимания. Главными критериями, которыми пользовались архитекторы являлось чувство композиции. С помощью зрительных эффектов архитектуры человек способен чувствовать разные эмоции.

Прослушивание. На сегодняшний день, много внимания уделяется проблеме подавления шума – нежелательного звука. При этом важно понимать, какие звуки приятно слышать человеку: тихий шелест листьев, журчанье ручья, птичьи голоса, легкий

плеск воды, шум прибоя, а также музыка. Важно отметить, что звуки в архитектурной среде могут давать тонкие подсказки относительно идентичности и пропорций пространства, намекая на его функцию.

Обоняние. Отмечается проблема современной архитектуры в том, что сегодня многие пространства спроектированы таким образом, чтоб не иметь запахов или устранять нежелательные. При этом, доказано, что запахи способны вызывать у людей различные эмоции и влиять на настроение человека. Тем самым, запахи являются неотъемлемой частью городской среды и могут быть использованы как в архитектуре, так и в дизайне.

Прикосновение. Тактильный элемент архитектуры часто остается вне внимания архитектора, при этом прикосновение – источник информации для человека, ощущая которое он может испытывать разные чувства.

Вкус. Несмотря, на свою, на первый взгляд, малую значимость, для архитектуры, чувство вкуса может усиливаться в определенных обстоятельствах, заданных архитектурой, что несомненно необходимо учитывать при проектировании.

В качестве шестого чувства в статье приведена *проприоцепция или кинестетика*. Кинестетические чувства человек воспринимает при движении по пространству (наклонные, стеклянные поверхности).

Также в статье рассмотрен *мультисенсорный подход* к проектированию. Чувства влияют друг на друга, а не испытывается каждое по отдельности. Данные переплетения и их взаимодействие также необходимо знать архитектуру для достижения определенной цели в проектируемой городской среде.

Материалы исследования, изложенные в статье, способствуют более широкому пониманию, того как исследования в области нейробиологии и нейроархитектура могут содействовать более качественным архитектурным и дизайнерским решениям. При этом важно отметить, что на сегодняшний день исследования нейробиологии сконцентрированы на каждом отдельном чувстве, и только относительно небольшое количество исследований изучало влияние комбинированных сигналов окружающей среды на восприятие, чувства или поведение людей. Таким образом, на пути к конкретным принципам проектирования с помощью нейробиологии, подобные фундаментальные исследования должны быть еще продолжены [9].

Тем не менее, применяя знания о нейроархитектуре, архитектор сможет выступать в роли композитора, организующего пространство для синхронизации функциональности и красоты, посредством человеческих чувств, так как понимание взаимодействия человеческого тела с пространством имеет первостепенно значение для современного архитектора [9]. Архитектура является коммуникативной средой для общества, ее красота и ее значение сегодня становятся более значимыми для здоровья и самопонимания человека [25].

5. Заключение

В результате проведенного исследования выполнены следующие задачи:

1. Проведен анализ влияния нейробиологии на архитектуру, в результате чего выявлено: нейробиология объясняет, как физическая среда влияет на человеческое познание, может стимулировать человека к определенным действиям, влияя на его настроение. Нейроархитектура появилась вследствие взаимодействия двух наук: нейробиологии и архитектуры.

2. Нейроархитектура – дисциплина, охватывающая область психологии окружающей среды, исследования нервной, эндокринной и иммунной систем. Нейроархитектура опирается на исследования чувств человека в той или иной среде, способна влиять на поведение человека. Нейроархитектура разрабатывается согласно данным нейробиологии.

3. Проведена оценка пяти чувств человека (зрение, прослушивание, обоняние, прикосновение, вкус), которые он испытывает ежедневно. А также рассмотрена проприоцепция, в качестве шестого чувства. Проанализирована значимость мультисенсорного подхода к архитектурному проектированию, так как человек не испытывает каждое чувство от отдельности.

Таким образом, каждое из чувств человека несомненно значимо, а проектирование с их учетом несомненно важно для человека, как пользователя архитектурной среды. Применение знаний о нейроархитектуре позволит архитектору создавать пространства, стимулирующие человека к определенному паттерну поведения, в зависимости от поставленной цели архитектора. Нейроархитектура способна повышать эффективность деятельности человека, снимать стресс, повышать качество жизни, благополучие людей.

Список литературы / References

1. Карпова Е.В., Мищенко М.А., Поморов С.Б. Влияние архитектурной среды на психологическое состояние человека. Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. 2015. № 1-2. С. 212-215. [Karpova E.V., Mishchenko M.A., Pomorov S.B. Influence of the architectural environment on the psychological state of a person. Bulletin of AltSTU im. I.I. Polzunov. 2015. No. 1-2. P. 212-215.]
2. Вязовская А. Архитектура и чувства. Город как форма мысли. 2012. № 3. С.88-93. [Vyazovskaya A. Architecture and feelings. City as a form of thought. 2012. № 3. P.88-93.]
3. Кидуэлл П. Психология города. Как быть счастливым в мегаполисе. 2018. 288с. [Kidwell P. Psychology of the city. How to be happy in the city. 2018. 288p.]
4. Ritchie I. Neuroarchitecture: Designing with the Mind in Mind. 2020. 136p.
5. Беляева. Е.Л. Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия. М.: Стройиздат. 1977. 127с. [Belyaeva. E.L. The architectural and spatial environment of the city as an object of visual perception. M.: Stroyizdat. 1977. 127p.]
6. Kayan C. Neuro-architecture: Enriching healthcare environments for Children. 2011. 104p.
7. Neuroarchitecture: intelligently designed buildings // Connections by Finsa. 2019. URL: <https://www.connectionsbyfinsa.com/> (дата обращения: 04.03.2022)
8. 12 principles of NeuroArchitecture and NeuroUrbanism // NeuroAU. 2018. URL: <https://www.neuroau.com> (дата обращения: 04.03.2022)
9. Spence C. Senses of place: architectural design for the multisensory mind. Cognitive Research. Principles and Implications. 2020. № 5 (46). // URL: <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00243-4> (дата обращения: 04.03.2022)
10. Папченко Е.В. Влияние звука на жизнедеятельность человека Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2009. № 7-1. С. 176-178. [Papchenko E.V. Influence of sound on human life Actual problems of the humanities and natural sciences. 2009. № 7-1. P. 176-178.]
11. Малей К.А., Малей А.А., Щедрина П.И. Влияние звуков и шума на здоровье человека В сборнике: Молодежь и научно-технический прогресс. Сборник докладов IX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 томах. 2016. С. 188-191. [Maley K.A., Maley A.A., Shchedrina P.I. Influence of sounds and noise on human health In the collection: Youth and scientific and technological progress. Collection of reports of the IX international scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists: in 4 volumes. 2016. P. 188-191.]
12. Шиффман Х.Р. Ощущение и восприятие. СПб.: Питер, 2003. 928 с. [Shiffman H.R. Feeling and perception. St. Petersburg: Piter, 2003. 928 p.]
13. Pallasmaa J. An architecture of the seven senses. In S. Holl, J. Pallasmaa, & A. Perez-Gomez (Eds.), Architecture and urbanism: Questions of perception: Phenomenology and architecture (Special issue). 1994. P. 27–37
14. John P. Eberhard. Architecture and the Brain: A New Knowledge Base from Neuroscience Paperback. 2007.
15. Dalton P., & Wysocki C.J. The nature and duration of adaptation following long-term odor exposure. Perception & Psychophysics. 1996. P. 781–792.
16. Albrecht L. (2013). Barclays Center's "signature scent" tickles noses, curiosity. 2013.
17. Hosey L. (2013). Scent and the city. New York: The New York Times. 2013. № 5. P. 3.

18. Костронь Л. Психология архитектуры. Харьков: Гуманитарный центр. 2018. 340 с. [Kostron L. Psychology of architecture. Kharkov: Humanitarian Center. 2018. 340 p.]
19. Sennett R. Flesh and stone: The body and the city in western civilization. New York: Norton. 1994. 102 p.
20. Рыбчинский В. Городской конструктор. М.: Strelka Press, 2014. 220 с. [Rybchinsky V. Urban constructor. Moscow: Strelka Press, 2014. 220 p.]
21. Линч К. Образ города. М.: Стройиздат, 1982. с 328. [Lynch K. The image of the city. М.: Stroyizdat, 1982. p 328.]
22. Eberhard J. P. Architecture and the brain: A new knowledge base from neuroscience. Atlanta: Greenway Communications. 2007. p 132.
23. Паперный В. Стивен Холл: Квадрат Малевича и губка Менгера // М.: Tatlin, 2011. С. 52-56. [Paperny V. Steven Hall: Malevich's Square and Menger's Sponge // М.: Tatlin, 2011. P. 52-56.]
24. Короткова С.Г. Методика разработки доступной среды для маломобильных групп населения в эскизном проекте // Тезисы, сборник научных трудов (международные конференции), Казань, №69, 2017, с.8 . [Korotkova S.G. The methodology for developing an accessible environment for people with limited mobility in a draft design // Abstracts, collection of scientific papers (international conferences) 2017. № 69, P. 8.]
25. Perez-Gomes A. Attunement: Architectural meaning after the crisis of modern science. Cambridge: MIT Press. 2016, p. 247.

Информация об авторах

Ринат Киямович Мухитов, доцент, кандидат архитектуры, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: mukhitov@list.ru

Анна Эдуардовна Гордеева, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: anna.rikhert@gmail.com

Information about the authors

Rinat K. Mukhitov, candidate of architecture, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: mukhitov@list.ru

Anna E. Gordeeva, architect, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: anna.rikhert@gmail.com

УДК: 721; 712

DOI: 10.52409/20731523_2022_2_72

EDN: COVLXP



Террасированная застройка как основной фактор создания комфортного визуального восприятия архитектурной среды при освоении сложного рельефа

Е.С.Пономарев¹, Е.В.Покка¹, К.А.Андреева²

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет

²ООО «Матирос»

г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Проблематику освоения участков со сложным рельефом демонстрирует сегодня интенсивная урбанизация городов, направленная в сторону равнинного рельефа. При этом участки со сложным рельефом остаются без внимания строительно-девелоперской индустрии, что далеко не всегда является эффективным подходом для расширения территории городов. Также проблемой расширения городов в сторону территорий с минимальными уклонами становится монотонная городская среда, так как в результате освоения равнинных участков рельефа становится очевидным недостаток визуально-воспринимаемых идентификаторов в городской ткани, отсутствие пластичности и разнообразия рельефа, а также недостающий контекст естественно-природной среды, внедренной в городскую ткань. Цель данного исследования – выявление определенного типа застройки для эффективного освоения сложного рельефа с описанием архитектурно-композиционных характеристик, формируя архитектурную среду с оптимальными визуально-воспринимаемыми характеристиками объемно-пространственной композиции. Для этой цели в исследовании определяется архитектурная типология застройки для освоения сложного рельефа на основе анализа и выявления подходящих объемно-пространственных параметров.

Результаты. Результатами исследования стали:

- типологический ряд визуальных характеристик архитектурной среды, создающих комфортное пребывание с учетом особенностей визуального восприятия в условиях сложного рельефа;
- типология застройки, применимая к принципам интеграционного взаимодействия архитектуры и ландшафта;
- обоснование террасированной застройки в качестве основного средства освоения сложных участков рельефа, как наиболее адаптивной для создания комфортной архитектурной среды.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры заключается в эффективном использовании типологии застройки при освоении сложных рельефов. Тем самым расширяются девелоперские возможности в процессе повсеместной урбанизации. В качестве решения данных проблем представлена террасированная застройка, которая соответствует задачам формирования визуального комфорта архитектурной среды и рекомендуется как основной тип застройки на участках со сложным рельефом.

Ключевые слова: Визуальное восприятие архитектурной среды, сложный рельеф, архитектурный ландшафт, комфортная городская среда, архитектурное террасирование.

Для цитирования: Пономарев Е. С., Покка Е.В., Андреева К. А. Террасированная застройка как основной фактор создания комфортного визуального восприятия архитектурной среды при освоении сложного рельефа // Известия КГАСУ. 2022. № 2 (60). С. 72-81, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_72 EDN: COVLXP

Terraced buildings as the main factor in creating a comfortable visual perception of the architectural environment during the development of complex terrain

E.S. Ponomarev¹, E.V. Pokka¹, K.A. Andreeva²

¹Kazan State University of Architecture and Engineering, ²LLC «Matiros»
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Formulation of the problem. The purpose of the study is to identify a certain type of development that allows for effective development of areas with complex relief, to form an architectural environment with optimal visually perceived characteristics of a volumetric composition. For this, the study defines the criteria for assessing the visual characteristics of a comfortable architectural environment. Based on the analysis and identification of the positive properties of a suitable volumetric-spatial type of buildings, the typology of buildings for the development of complex relief is revealed. The problem of developing territories with difficult terrain is today manifested in the intensive urbanization of cities, aimed at flat relief.

Results. The research results were:

- typological range of visual characteristics of the architectural environment, creating comfortable staying, taking into account the peculiarities of visual perception in difficult terrain;
- typology of development, applicable to the principles of integration interaction between architecture and landscape;
- substantiation of terraced buildings as the main means of developing difficult-to-pass territories, as the most adaptable for creating a comfortable architectural environment.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture lies in the effective use of the building typology in the development of complex reliefs. Development opportunities expand with widespread urbanization. We presented terrace buildings, corresponding to the tasks of forming the visual comfort of the architectural environment and recommended as the main type of building on areas with difficult terrain.

Keywords: Visual perception of the architectural environment, difficult terrain, architectural landscape, comfortable urban environment, architectural terracing.

For citation: Ponomarev E. S., Andreeva K. A. Terraced buildings as the main factor in creating a comfortable visual perception of the architectural environment during the development of complex terrain // News KSUAE 2022 № 2 (60) P. 72-81, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_72 EDN: COVLXP

1. Введение

Сложный рельеф местности с перепадами вертикальных отметок содержит потенциал для формирования визуального комфорта создаваемой архитектурной среды. Под сложным рельефом в данном исследовании понимается морфология земной поверхности (холмы, овраги, склоны, сопки, предгорья с уклонами 15 %), требующие использования специальных архитектурно-планировочных приемов при их освоении и формировании застройки путем создания многоярусного ландшафта или террасированной архитектуры. Преимущества застройки на сложном рельефе при создании новых районов в городах и населенных пунктах не ограничивается только созданием визуального комфорта. Освоение сложного рельефа позволяет решать вопросы повышения плотности населения в городских районах, ограничивая при этом излишнюю урбанизацию архитектурной среды. Также при освоении сложных рельефов решаются проблемы защиты окружающей среды, и складывается антропогенно-природный баланс при сохранении естественно сложившихся биоценозов на данной территории, тем самым создается основа для устойчивого развития городских территорий, их рационального использования и повышения компактности городов [1].

В научных статьях (в иностранных источниках) рассматриваются различные проблемы освоения сложного рельефа: восстановление и сохранение природных ландшафтов, комфортность городской среды, отсутствие свободных территорий для застройки [2-5]. Также анализируются особенности визуального восприятия архитектурной среды [6]. Дискуссионным остается вопрос выбора типов зданий, подходящих для освоения сложного ландшафта.

При анализе архитектурных решений, которые включают интеграцию природного ландшафта и геопластики в архитектурную среду выявлено, что при формировании визуального комфорта архитектурной среды следует ориентироваться на концептуальные идеи, опирающиеся на энвайронментальную¹ эстетику. Восприятие среды включает разнообразные факторы, среди которых наибольшее значение имеет визуальное восприятие [7]. Визуально-воспринимаемые характеристики искусственной среды отличаются от естественно-природной, прежде всего, наличием большого числа монотонных, агрессивных и гомогенных поверхностей.

Целью данного исследования является выявление определенного типа застройки для эффективного освоения сложного рельефа с описанием их архитектурно-композиционного характера. Задачи, вытекающие из поставленной цели исследования, следующие:

- 1) определить типологию визуально-воспринимаемых композиционных характеристик комфортной архитектурной среды и диапазон возможных архитектурных решений, при застройке сложных участков рельефа без потери композиционных качеств, формируемой при этом архитектуры;
- 2) обосновать необходимость освоения сложных участков рельефа в процессе урбанизации городов в качестве метода повышения объемно-пространственных характеристик архитектурной среды;
- 3) выявить подходящий тип застройки при освоении сложных участков рельефа как наиболее эффективного метода архитектурно-планировочной организации территорий.

2. Материалы и методы

Для составления визуальных характеристик комфортной архитектурной среды были изучены литературные источники различных областей знаний и применен метод анализа теоретического материала. В исследовании использован также системный метод для рассмотрения процесса освоения сложного ландшафта в связке "архитектура - природный ландшафт". Метод классификации применялся при подготовке типологий: классификации визуальных характеристик в зависимости от типологии зданий с учетом принципов взаимодействия архитектуры с ландшафтом. К выделенной типологии зданий (террасированная застройка) был применен метод сравнения для выбора наиболее подходящего типа застройки при освоении сложного рельефа. Тип террасированной застройки был проверен на соответствие качеств визуальных характеристик, а также были выявлены преимущества и недостатки выбранного типа застройки.

3. Результаты

Визуальные характеристики комфортной архитектурной среды были выявлены и выражены в пяти позициях: визуально-читаемая информация, архитектурно-композиционная выразительность застройки, проницаемость городской среды, функциональный баланс застройки территории и соотношение масштаба архитектуры к природной среде.

Первая характеристика комфортной архитектурной среды — визуальная считываемость информации, ее плотность информации и темп ее восприятия. Например, при поездке на транспорте человек воспринимает большое количество информации за короткий промежуток времени. Поэтому он не способен осознавать эту информацию в полном объеме. Визуальные препятствия могут вызвать нехватку визуальной информации. Под вразумительностью информации понимается легкость распознавания. Охват полноты информации позволяет воспринимать общий смысл. Уместность включает в себя соответствие между формой и сообщением, а также расположение информации в том месте, к которому она относится. Визуальные сообщения должны быть ненавязчивыми. При наличии информации с умеренными параметрами, обеспечивается визуальный комфорт. Естественная среда обладает хорошими параметрами информативности, а городскую среду необходимо контролировать. Под визуальной информацией понимается соотношение архитектурных форм к их функциональному содержанию. Архитектура должна вызывать у человека чувство безопасности и возможность ориентироваться в пространстве [8].

Вторая визуальная характеристика — композиционные и гармонические требования. При

¹ от англ. environment – окружение, среда – современное направление в отрасли философско-эстетического знания, возникшее в последней трети XX века в русле постмодернистской эстетики. Термин принадлежит американскому философу Берлеанту. Основным предметом изучения энвайронментальной эстетики являются художественные практики создания неутилитарных пространств. Энвайронментальная эстетика: новое научное измерение окружающей среды. Образование. Наука. Научные кадры. 2020 №1 С 169-170

организации архитектурных форм в соответствии с удовлетворением функциональных требований, необходимо не исключать из внимания и морфологические требования – эстетические и конструктивные. Конструктивные требования с точки зрения визуального восприятия должны соблюдаться аналогично функциональным, то есть быть понятными наблюдающему человеку и ассоциироваться с безопасностью. Эстетические требования отражают стремление к гармоничности, выразительности пространства и формы, а также определенные эмоциональные переживания человека. Данные эстетические требования архитектурно-пространственной среды в значительной степени определяются композиционными и гармоническими свойствами данной среды, такими как целостность, масштабность, соподчиненность, пропорциональность и другие. Моделирование форм и поверхностей, которые организуют пространство, основано на следующих признаках: геометрические формы, положение в пространстве и относительно других форм, величина, массивность и разреженность, а также фактура, цвет, светотень. Важно рассматривать композиционные качества среды не только как свойства форм и поверхностей, но и с точки зрения их восприятия. Английский психолог Г.Ю. Айзенк при исследовании эстетики среды использовал гештальтпсихологию, и считал, что необходимо оптимальным образом сочетать повторяемость элементов и их разнообразие. Айзенк выделил при эстетическом восприятии два фактора: универсальное физическое восприятие, не зависящее от личности, и индивидуальное восприятие, основанное на субъективных впечатлениях, культуре и эрудиции. Учесть при проектировании субъективное восприятие каждого человека невозможно, поэтому необходимо применять универсальные композиционные приемы и учитывать национально-региональный опыт проектирования.

Гармония видимой среды складывается из трех аспектов: математический, эстетический и художественный аспекты. Математический аспект рассматривает гармонию количественно, используя формулы (закон золотого сечения и тому подобные). Эстетический аспект гармонии раскрывает не количественную, а качественную составляющую – чувство прекрасного, красота. Художественная гармония – гармония искусства, единство и борьба противоположностей (прекрасного и безобразного). Если эстетический и художественный аспект основаны на интуитивном и творческом потенциале архитектора, то математический аспект точен и позволяет безошибочно создать гармоничное впечатление от создаваемого объекта. Математическая составляющая гармонии ясно проявляется в пропорциональности и соразмерности объекта человеческим параметрам.

Особое внимание следует уделить зонам фасадов, расположенных на уровне человеческого взгляда. В городской среде здания расположены компактно, поэтому большую часть времени в поле зрения горожан оказывается первый ярус зданий (первые этажи, цокольные этажи), которые и влияют на психологическое и эмоциональное состояние людей посредством визуального восприятия. [9] Фасады и элементы первого яруса зданий должны быть соразмерны человеку и визуально приятны. При этом композиционные и гармонические качества визуальной среды воспринимаются в статичном состоянии. При движении в пространстве восприятие линий, геометрических форм и объемов меняется, так как они искажаются из-за перспективы и особенностей оптического восприятия. В городской среде люди передвигаются в основном в горизонтальном направлении. Поэтому необходимо тщательно разрабатывать фасады в вертикальном направлении, как в самом стабильном визуальном поле. Фасады необходимо членить горизонтальными элементами, учитывая пропорциональность, соразмерность человеку и другие гармонические принципы организации визуально-эстетической среды. Членение фасадов позволяет создать зрительные фокусы, за которые взгляд цепляется при наблюдении и получает визуальную информацию. Элементы фасада, которые создают зрительные фокусы, должны быть объемными, а не цветовыми пятнами, так как создают светотеневые контуры на фасаде. Контурные линии воспринимаются легко и несут самую важную информацию. Насыщение фасадов зданий объемными элементами, которые имеют размеры и расположение на плоскости, подчиненные композиционным и гармоническим правилам, являются пластикой архитектурного объекта и повышает выразительность облика здания.

На дальних расстояниях объекты, как природные, так и антропогенные, воспринимаются в виде силуэтов. В отличие от контурного восприятия, где глаз видит линию в силуэтом восприятии, глаз фиксирует плоскую однотонную фигуру. В зависимости от расстояния наблюдения выделяют три типа восприятия: силуэтный, мозаичный и объемный (рис.1). Силуэты отдельных зданий, комплексов зданий (городской застройки) и природные силуэты (граней рельефа, лесных массивов, крупных водоемов) воспринимаются на значительных расстояниях. При более близких расстояниях

наблюдается мозаичный тип восприятия, при котором глаз наблюдает несколько силуэтов, пятен разной тональности. При еще большем приближении объект наблюдения будет состоять из множества силуэтов, которые образуют объемные формы. [1]

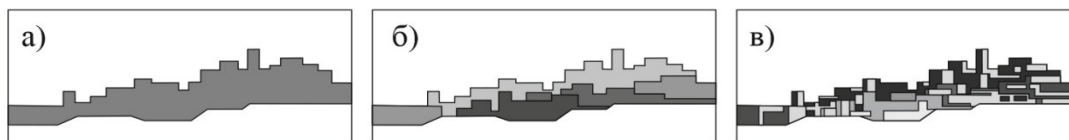


Рис.1 Типы восприятия: а) силуэтный; б) мозаичный; в) объемный (иллюстрация авторов)
Fig.1 Types of perception: a) silhouette; b) mosaic; c) three-dimensional (illustration by the authors)

Силуэты городской застройки должны быть разнообразными и содержать ориентиры – высотные доминанты. Данные доминанты необходимо располагать не слишком близко друг к другу, так они не будут узнаваемыми, и не слишком редко, так как ориентиров будет недостаточно. Хорошее расположение высотных доминант, например, по одному на микрорайон. При этом высота ориентира должна быть достаточной для обозрения его с улиц этого микрорайона. [10]

Кроме высотных доминант разнообразие силуэтов города повышается разной этажностью застройки или разновысотным расположением зданий – ярусными композициями. Ярусная застройка, например, на террасированном склоне, создает многоплановые силуэты разной световой тональности. При повторении силуэтами городской застройки естественных форм рельефа данные силуэты приобретают плавные природные линии. С помощью застройки можно сгладить форму рельефа или наоборот акцентировать ее (рис.2). Сглаживание формы рельефа достигается путем застройки углублений между холмами и, наоборот, усиление рельефа можно добиться застройкой на вершинах холмов или склонов. Сглаживание форм рельефа преобладает в американской культуре строительства. Сохранение и акцентирование естественных форм рельефа присутствует в более древних культурах, ценили содружество с природой, а экономия материалов и пространства вынуждала сооружения соответствовать формам ландшафта.

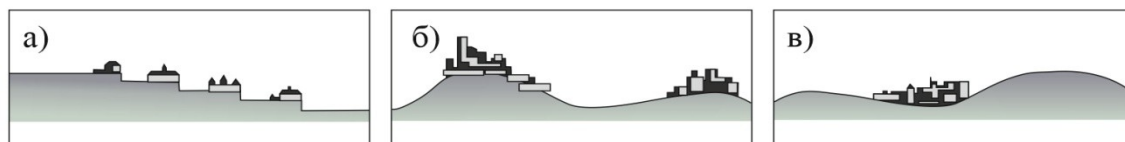


Рис. 2. Усиление рельефа: а) акцентирование террас; б) усиление холмов;
в) нивелирование холмов (иллюстрация авторов)
Fig.2 Reinforcement of the relief: a) accentuation of terraces; b) strengthening of the hills;
c) leveling hills (illustration by the authors)

Третья визуальная характеристика — это проницаемость городской среды. В городской среде ценится возможность видеть не только силуэты, но и панорамы, виды, перспективы городской и природной среды. «Силуэт имеет каждый город, а вот хорошими панорамными видами обладают далеко не все» [11]. В силуэтах невозможно прочесть глубину пространства. Человеку необходимо видеть панорамы, но при этом он комфортнее себя чувствует в замкнутых пространствах. Незамкнутые городские пространства при расположении зданий на значительном расстоянии друг от друга образуют гомогенные визуальные поля, и человек чувствует себя некомфортно. Полностью замкнутые пространства (дворы-колодцы и улицы как каньоны) нарушают нормы инсоляции, проветривания, а также визуально изолируют от панорам, которые положительно влияют на психологическое и эмоциональное состояние человека. Таким образом, важна степень замкнутости пространства. Полузамкнутые пространства улиц и дворов должны иметь промежутки, которые образуют собой проницаемость (пористость) городской среды. Частичная замкнутость пространства вызывает чувство безопасности и устойчивости, а промежутки между зданиями, открывающие панорамы, стимулируют такие факторы подсознательного восприятия, как ориентированность, векторность, нацеленность, общность и сопричастность средовым процессам. [12]

На равнинных территориях панорамы города и его внешней природной среды ограничены ближайшей к наблюдателю застройкой и составляет не более 5 км. На сложном рельефе разновысотное положение застройки расширяет возможности восприятия панорам и увеличивает дальность их охвата: «... при превышении точки наблюдения над наблюдаемым объектом (или

наоборот) всего на 25 м теоретическая дальность открытия увеличивается до 20 км» [1]. Террасы во всех их проявлениях являются «пустотами» в общем объеме зданий или склонов. Пространственные пустоты, располагаясь на разных высотных уровнях и на разной глубине, формируют разнообразные визуальные связи и панорамы [1].

Четвертая выявленная характеристика – плотность застройки. При проектировании городской застройки следует обеспечивать архитектурную среду визуальной транспарентностью и наибольшей пешеходной проницаемостью для создания максимального комфорта. Оптимальные соотношения расстояния между зданиями к высоте зданий находятся в пределах от 1:2 до 2:1². При этих соотношениях достигается комфортное чувство замкнутости. Максимальное расстояние между зданиями равно 25-50 м, так как на расстоянии 50 м можно узнать человека по фигуре и походке, а на расстоянии до 25 м можно узнать людей в лицо и видеть выражение лица³. Для соблюдения условий инсоляции и указанных расстояний следует вводить ограничение высотности застройки до 5-8 этажей. Здания высотой от 27 м следует проектировать в качестве многофункциональных жилых комплексов с общественными первыми этажами [12]. Строительство высотных доминант должно ограничиваться 12 этажами. Данные параметры являются психологически комфортными и экономически целесообразными. Визуальный комфорт также создается разнообразием архитектурной среды города. Это означает, что необходимо предусматривать уникальные общественные пространства: средней величины площади, скверы, узкие уютные улочки. Что позволяет обеспечивать узнаваемость места и навигацию по городу. Функциональный баланс застройки территории 70/30 (в процентах%) жилой функции к общественной считается оптимальным [12].

Пятая и последняя визуальная характеристика – соотношение масштаба архитектуры с природной средой и доля природных зрительно-воспринимаемых элементов в визуальном поле городской среды. Наличие таких элементов в урбанизированной среде улучшает эмоциональное и физиологическое состояние горожан. Поэтому при проектировании важно учитывать долю естественной среды (природных зрительных элементов), которая составляет не менее 20-30 % от общей визуальной среды города. Увеличить долю естественной визуальной среды возможно посредством приемов геопластики и озеленения [13]. При застройке сложного рельефа формируется уникальная ступенчатая пластика ландшафта, что позволяет благоустраивать городские пространства в качестве террасированного склона. Тем самым образуются выразительные природные зрительно-воспринимаемые элементы в составе застройки. При террасной застройке подразумевается озеленение террас, эксплуатируемых кровель, что также ведет к увеличению доли естественной природной среды в городском пространстве.

При проектировании, с учетом композиционного единства архитектуры с естественной средой, важно соблюдать сомасштабность зданий ландшафту, на которых они располагаются. При этом Кевин Линч отмечает, что масштаб ландшафта относителен: пологий склон может доминировать, а крупный горный ландшафт может издали быть незначителен. Проектировщику архитектурной среды важно подчеркивать рельеф, а не нивелировать его. Масштабность зданий должна соответствовать ландшафту и подчеркивать его.

Для выделения наиболее подходящего типа застройки на сложном ландшафте тыла рассмотрена общая типология зданий. Выделяются четыре принципа взаимодействия архитектуры и ландшафта, на основе которых можно составить типологию зданий по принципам размещения и «внедрения» их в окружающий ландшафт (рис.3).

² Шимко В.Т. Архитектурно-дизайнерская проектирование городской среды // Архитектура-С. 2006. 377 с. С 21

³ Филин В. А. Визуальная среда города // Вестник международной академии наук (русская секция). 2006. №2. С.43–50.



Рис. 3. Типология застройки, основанная на принципе взаимодействия архитектуры и ландшафта (иллюстрация авторов) [22]

Fig.3 Building typology based on the principle of interaction between architecture and landscape (illustration by the authors) [22]

1. Принцип поляризации – это принцип, при котором архитектурные объекты приподняты над землей и естественная среда остается нетронутой. Такие здания акцентируют на себе внимание, так как находятся выше зрительных преград.

1.1. К данному принципу относятся здания «на ножках» (столбах, колоннах, сваях). Такие здания эффективно строить на северных склонах, на территориях с густой растительностью, на подтопляемых территориях, в условиях вечной мерзлоты и, наоборот, в особо жарком климате.

1.2. Другой тип зданий - здания на подвесных конструкциях, которые располагаются на отвесных скалах или в лесном массиве.

2. Принцип интеграции – принцип «внедрения и растворения» архитектурного объекта в естественной среде. Форма зданий зачастую приобретает ступенчатый вид.

2.1 Тип зданий или групп зданий, расположенных на террасированных склонах или имеющих переменную этажность, далее обозначается как «террасированная застройка».

2.2 Тип зданий «ландшафтный» - здания, подражающие ландшафту. Форма зданий напоминает естественный рельеф, а фасады или кровля зданий покрыты растительностью.

2.3 Тип зданий «зеркальный» - разновидность «ландшафтного», полностью спрятанные в рельефе, скрытые от визуального восприятия.

3. Принцип глубокой интеграции, при котором архитектурный объект частично или полностью заглублен в толще земли и при этом оказывает наименьшее влияние на визуальное восприятие ландшафта.

3.1 Тип зданий, частично погруженных в грунт. Данные здания наиболее эффективны при строительстве на южных склонах с уклоном более 30 градусов.

3.2 Здания подземные, то есть полностью расположенные под землей.

4. Принцип формального подхода – наиболее распространенный принцип, при котором игнорируется взаимодействие архитектуры и ландшафта, а архитектурный объект преобладает над естественной средой.

4.1 Тип зданий, расположенных на равнинных участках. При строительстве данных зданий на сложном рельефе требуется провести дополнительные мероприятия. Например, использовать типы зданий из пункта 4.2 или 4.3.

4.2 Тип зданий с консольными вылетами. Применяют данные здания в участках сильного перепада рельефа или на верхней границе сложного рельефа.

4.3 Тип зданий «мостообразный», при строительстве здания между двух холмов, берегов. Опираясь на склоны по торцам, здание является «балкой», «мостом», соединяющим два выпуклых рельефа [17-19].

4. Обсуждение

Причина популярности террасированной застройки заключается не только в их уникальных визуально-воспринимаемых характеристиках на местности, но и следующими положительными свойствами террасированной застройки:

- Террасированную застройку можно использовать на склонах с уклоном более 8 градусов и со сложными геологическими условиями, на которых нет возможности возводить многоэтажные здания. При этом наиболее благоприятные уклоны для террасированной застройки от 30 до 60 градусов и максимальный возможный уклон 70 градусов [11].

- При определенных естественных склонах плотность жилого фонда террасированной застройки высокая и близка к плотности жилого фонда многоэтажных зданий. «Анализ показал, что на склонах крутизной 14–40 % террасно-блокированные дома имеют, безусловно, лучшие технико-экономические показатели в сравнении с террасными и блокированными домами любого типа. Вполне реально достигается плотность жилищного фонда (нетто), равная 8–12 тыс. м²/га (соответственно, плотность брутто 5,9–7,7 тыс. м²/га, или 335 чел./га), что сопоставимо с плотностью многоэтажной застройки на ровной местности» [14]. При крутых склонах плотность жилого фонда будет значительно меньше плотности зданий, построенных на равнине с аналогичной площадью застройки.

- Наличие открытых террас и эксплуатируемых кровель повышает уровень комфорта проживания в террасированной застройке не только в теплое время года, но и зимой [15, 16].

- Хороший обзор из окон помещений и с террас (балконов) позволяет наблюдать дальние панорамы в связи с открытостью горизонта для каждого этажа.

- Присутствует приватность террас и помещений, так как они имеют визуальную изоляцию с улицы. В некоторых случаях необходимо принимать дополнительные меры по визуальной изоляции, например, удлинять вылеты террас.

- Психологическая безопасность и отсутствие страха высоты присутствуют при террасированной застройке любым количеством ярусов, так как высота ярусов ограничена правилами устройства безбарьерной среды. Так как рекомендуемая высота от уровня земли до окон верхнего яруса равна 25–27 м, необходимо соблюдать ограничение этажности каждого яруса до 8 этажей.

- При террасированной застройке существует большое разнообразие композиционных приемов по формированию приятного архитектурного облика зданий. Также существуют разнообразные инженерно-строительные приспособления для строительства на склонах любой сложности. Разнообразие архитектурных решений создает эстетически привлекательную городскую среду.

- Террасированная застройка обладает высокими экологическими качествами. Наличие террас из эксплуатируемых кровель и нагорных террас из грунта позволяют благоустроить территорию с обилием зелени. Использование подземного строительства в террасированной застройке – частичное заглубление зданий – также повышает экологические качества строительства.

- Террасирование склона позволяет поддерживать комфортный температурно-влажностный режим [20]. Удобно организовывается естественный сток атмосферных осадков, при этом часть осадков задерживается на террасах и создает благоприятный микроклимат для растительности. На естественных склонах в зависимости от уклона и ориентации по сторонам света могут присутствовать одновременно разные ветровые и инсоляционные режимы на одних и тех же склонах. Террасированная застройка позволяет нивелировать и наиболее эффективно использовать потоки преобладающих ветров и солнечную радиацию [1].

- При террасированной застройке конструктивные части зданий могут укреплять склон и сохранять его от денудации (процесс сдвига земляных масс) [17]. Необходимо учитывать геологические особенности склонов и выполнять меры по дополнительной защите склонов от разрушения, если это требуется. Например, строить подпорные стенки, выполнять нормативные откосы или высаживать деревья и кустарники для защиты от оползней, селей и обвалов.

- Сложность строительства на крутых склонах, определяемая характером рельефа и крутизной уклона [18], ведет к увеличению экономических затрат на строительство. Однако средняя стоимость 1м² полезной площади зданий при террасированной застройке возрастает лишь на 9% от стоимости застройки на ровных участках при аналогичных технико-экономических показателях. Основное удорожание (4–5%) связано с организацией строительных работ [19].

Террасированная застройка является наиболее визуально комфортной для человека. Она соответствует всем визуальным характеристикам городской среды, оказывая положительное психическое и эмоциональное влияние. Сочетая визуальные характеристики и свойства

террасированной застройки, указанные в статье, можно вывести следующие подтверждения приоритета использования террасированной застройки при освоении сложного рельефа:

1. террасированная застройка имеет сложную разнообразную пространственную форму, которая во взаимодействии с ландшафтом, образует положительную визуальную информацию, и исключает образование негативных визуальных полей.

2. при дополнении основной архитектурной формы композиционными и гармоническими приемами, облик застройки будет обладать эстетическими качествами.

3. необходимое членение фасадов поперек вертикального направления обеспечивается террасами.

4. террасы также создают ярусность общей композиции и разнообразный силуэт здания или комплекса зданий.

Высокая плотность застройки и ограничение этажности обеспечивают комфортную среду. Полузамкнутый принцип расположения зданий способствует формированию у человека с одной стороны чувство безопасности, так как присутствует защита с тыла, с другой стороны – возможность обозревать панорамы [20, 21, 22, 23]. Террасная застройка на склоне имеет большую долю природных визуально-обозреваемых элементов, сохранением рельефа и большими площадями озеленения. Такой вид застройки гармонично вписывается в естественный ландшафт.

Среди недостатков террасированной застройки выделяют повышенные теплопотери из-за большой площади наружных ограждений, и затруднение удаления снега с террас. Данные недостатки могут быть решены правильно подобранными архитектурно-планировочными решениями. Таким образом, они не являются большим препятствием для использования данного типа застройки.

5. Заключение

1. Визуальные характеристики комфортной архитектурной среды зависят от их восприятия и проявляются на всех уровнях формирования архитектурной среды. Внедрение используемых принципов застройки на сложном рельефе демонстрирует сохранение природной составляющей в любом антропогенном объекте для его визуального восприятия без психологического дискомфорта.

2. При строительстве городов или расширении их территорий необходимо осваивать сложные участки рельефов, что повышает качество архитектурной среды и позволяет сохранять склоны от естественного разрушения, так как при строительстве производятся мероприятия по укреплению склонов.

3. Выявлена типология зданий по принципу взаимодействия архитектуры и ландшафта, среди которых выделен принцип интеграции, включающий в себя террасированную застройку. Принцип интеграции позволяет гармонично сочетать архитектурную среду и природную среду на основе повторения естественных форм ландшафта.

Список литературы/References

1. Krogus V. R. The city and relief. M. : Stroyizdat, 1979. 124 p.
2. Simensen T., Halvorsen R., Erikstad L. Methods for landscape characterisation and mapping: A systematic review // Land Use Policy. 2018. Vol. 75. P. 557–569. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.04.022.
3. Xia L., Cheng W. Sustainable development strategy of rural built-up landscapes in Northeast China based on ANP approach // Energy Procedia. 2019. Vol. 157. P. 844–850. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.11.250.
4. Shabatura L. Bauer N. Speranskaya N., Iatsevich O. Innovative Methods of Anthropogenic Landscape Reconstruction in the Urbanized oil and Gas Region Environment // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. P. 1105–1111. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.826.
5. Ying-Kit Ho, Ka-Wah Shum, Jeffrey Chun-Fai Wong Strategic Use of Rock Caverns and Underground Space for Sustainable Urban Development of Hong Kong // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. P. 705–716. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.768.
6. Alexan Coburn A., Kardan O., Kotabe H., Steinberg J., Berman M. G. Psychological responses to natural patterns in architecture // Journal of Environmental Psychology. 2019. Vol. 62. P. 133–145. DOI: 10.1016/j.jenvp.2019.02.007.
7. Molodkina L.V. To the question of phenomenology of memory (based on the example of architectural and natural memorial) // MSU Vestnik. 2007. №6. P. 89.
8. Lynch K. The image of the city. The M. I. T. Press Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts and L., England, 1982. P.241–243.

9. Ellard C. *Habitat Places of the Heart: The Psychogeography of Everyday Life*; Bellevue Literary Press, 2015. P.249.
10. Alexander Ch., Ishikawa S., Silverstein M. // *A pattern language. Towns. Building. Construction*; Oxford University Press, N-Y., 2014. P.336–338.
11. Tregubova E. A., Tagirova R. Sh., Zubtsov A. N. The principles of the building on a landscape // *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Student and Science*. 2016. № 11. P. 95–101.
12. Sokolova M. A., Alexandrova K. Yu. Urban voices as a component of architectural environment humanization // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019. № 4(49). P. 262–280.
13. Lavrova O. P. Natural visual elements as an important factor of comfortable visual environment formation of urbanized spaces // *Forestry Bulletin*. 2018. Voi. 3. Iss. 3. P. 133–141.
14. Kalabin A. V. Terraced-blocked houses for effective construction slope // *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2011. № 1. P. 61–66.
15. Mingaleeva K.A., Moor V.K. Method of modular coordination of urban landscape and development in the process of re-development of anthropogenic relief // *Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia*. 2015. T1 №1 C 1-7
16. Kopyeva A.V., Maslovskaya O.V., Shuntov A.V., Ivanova O.G. Methods and principles of renovation of mass residential development on difficult terrain in the city of Vladivostok // *Bulletin of the FEFU Engineering School*. 2020 No. 4 (45) C 140-153 DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-14>
17. Korobeinikova A. E. Planning on a difficult terrain taking into account morphology and aeration mode of slope areas // *Bulletin of MITU-MASI*. 2018. №1. P. 43–46.
18. Rotan D. V. Construction in mountainous terrain (for example, the Aiguille du Midi in France) // *International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral"*. 2019. № 2. P. 224–228.
19. Tumanyan P. P. Experience of building on steep slopes // *Housing construction*. 1979. №12(264). P. 11–12.
20. Shurygina Yu.V. Features of architectural-planning organization of residential development in complex terrain // *Construction and industrial safety*. 2017. № 6(58). P. 35-38.
21. Suvorov V. O. Typology of space-planning solutions of dwellings for territories with difficult relief // *Architecton: Proceedings of higher education*. 2014. № 47. P. 80–93.
22. Problems of city planning and development in conditions of difficult terrain Shevelev V.P., Kuzina Yu.A. // *Architectural research of VSTU* 2018. pp. 104-117
23. Aidarova G.N. Global transition to a new architectural and urban planning paradigm of spatial organization of the living environment, publisher: Kolo, St. Petersburg, Russia, number:3, 2021, p 32-47

Информация об авторах.

Евгений Сергеевич Пономарев, кандидат архитектуры, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: ponom_argo@mail.ru

Екатерина Владимировна Покка, кандидат архитектуры, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: ekaterina-p-83@mail.ru

Андреева Кристина Артуровна, главный инженер проектов, ООО «Матирос», Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: listruna@rambler.ru

Information about the authors.

E.S.Ponomarev, candidate of architecture, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: ponom_argo@mail.ru

E.V.Pokka, candidate of architecture, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: ekaterina-p-83@mail.ru

Andreeva Kristina Arturovna, Chief Project Engineer, LLC «Matiros», Kazan, Russian Federation.

Email: listruna@rambler.ru

УДК: 728.03

DOI: 10.52409/20731523_2022_2_82

EDN: CYYWXM



Особенности архитектурного решения землебитных строений и возможности их конструктивного устройства для условий Среднего Поволжья

С.Н.Смирнова¹¹Поволжский государственный технологический университет
г.Йошкар-Ола, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* В современную эпоху архитекторы стремятся приложить усилия к решению хотя бы части всё возрастающих экологических проблем. В настоящей работе обращается внимание на использование натуральных экологичных материалов. Кроме того, прослеживается история строительства землебитных домов; выявляется ареал распространения землебитной архитектуры; определяются характерные черты архитектурного решения землебитного дома. Цель исследования - проанализировать возможности архитектурной выразительности землебитных сооружений и возведения малоэтажных жилых домов по технологии землебитного строительства в климатических условиях Среднего Поволжья.

Результаты. Рассмотрена краткая история строительства землебитных строений с древности до настоящего времени, выявлены тенденции архитектурного формообразования, определено влияние объемно-планировочного и конструктивного решения на экологичность и экономичность подобных сооружений. Проанализированы возможности возведения подобных сооружений в условиях Среднего Поволжья.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в обосновании возможности проектирования и строительства зданий по технологии землебита в условиях Среднего Поволжья, разработке конструкции стены по данной технологии.

Ключевые слова: экологичность, земляная архитектура, землебит, технология «стабилизированная изолированная утрамбованная земляная стена».

Для цитирования: С.Н. Смирнова, Особенности архитектурного решения землебитных строений и возможности их конструктивного устройства для условий Среднего Поволжья// Известия КГАСУ, 2022 №2(60), с.82-92, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_82 EDN: CYYWXM

Features of the architectural solution of earth-building structures and the possibility of their constructive arrangement for the conditions of the Middle Volga region

S.N. Smirnova¹¹Abstract Volga state university of Technology
Yoshkar-Ola, Russian Federation

Problem statement. A brief history of the construction of earth-building structures from antiquity to the present time is considered, trends in architectural shaping are identified, and the influence of space-planning and structural solutions on the environmental friendliness and

efficiency of such structures is determined. The possibilities of constructing such structures in the conditions of the Middle Volga region are analyzed.

The aims of the work are to trace the history of construction of earth-building houses; to identify the area of distribution of earth-building architecture; to determine the characteristic features of the architectural solution of earth-building houses; to analyze the possibility of constructing low-rise residential buildings using earth-building technology in the climatic conditions of the Middle Volga region.

Results. A brief history of the construction of earth-building structures from antiquity to the present time is considered, trends in architectural shaping are identified, and the influence of space-planning and structural solutions on the environmental friendliness and efficiency of such structures is determined. The possibilities of constructing such structures in the conditions of the Middle Volga region are analyzed.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture lies in the justification of the possibility of designing and constructing buildings using the rammed earth technology in the conditions of the Middle Volga region and the development of a wall design using this technology.

Keywords: environmental friendliness, earthen architecture, rammed earth, technology "stabilized insulated rammed earth wall".

For citation: S.N. Smirnova, Features of the architectural solution of earth-building structures and the possibility of their constructive arrangement for the conditions of the Middle Volga region// News KSUAE 2022, №2(60), p.82-92, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_82
EDN: CYYWXM

1. Введение

В русском языке синонимом термина «архитектура» всегда выступало «зодчество» (ст.-слав. «зѣдъчйи» от «зѣдъ» — глина, материя). Имеется ли альтернатива современным индустриальным методам возведения зданий и материалам в строительстве? Бывшие ещё совсем недавно традиционными и подчас даже единственно возможными методами строительства, такие технологии, как соломенный дом, землебит (глинобит), саманный дом, теперь называются «нетрадиционными», альтернативными. Материалы данных конструкций, будучи по происхождению природными, как нельзя больше других претендуют называться экологичными.

В условиях всё возрастающей экологической напряжённости на планете в мировой архитектурной практике главенствующую роль набирает направление экологичной (ресурсосберегающей, устойчивой) архитектуры, среди множества концепций которой – архитектура в стиле эколоуток, избравшей для себя приоритетом использование натуральных местных материалов (грунт, дерево, растения и т.д.).

Предчувствуя радикальность преобразований в архитектуре как ответ на глобальные проблемы человечества, доктор архитектуры, Айдарова Г.Н., формулирует понятие «ресурсосберегающей архитектуры»: «Альтернативой ресурсоемкой архитектуры должна стать ресурсосберегающая архитектура... – это искусственная среда, потребляющая минимум природных ресурсов при максимуме эксплуатационного и эстетического эффекта. Движение к ней повлечет изменение модели потребления современного человека, стереотипов его мышления, жизненных стандартов, пересмотр этических норм, духовных и физических возможностей» [1]. Вопросы проектирования ресурсосберегающей и экологической жилой среды также решаются в трудах Давиденко П.Н., Петровой З.К. [2].

По принципам использования экологически чистых материалов, взаимосвязи и взаимозависимости архитектурной формы с ландшафтом и местными природными условиями, неконфликтного взаимодействия, комплексного визуального восприятия архитектурной формы и среды расположения объекта, возможности разложения после завершения срока жизни землебитная архитектура согласуется с требованиями архитектуры бионаправления, огромный вклад в развитие которой внесли Лебедев Ю.С. [3], Витюк Е.Ю. [4,5].

Вопросы экологического формообразования исследовали в своих трудах Тетиор А.Н. [6], Черешнев И.В. [7], Иовлев В.И. [8].

Объекты земляной архитектуры как метафоры природы в городском ландшафте с использованием материалов на основе грунтов рассматривались в диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры Е. А. Русановой [9].

Зубкин В. Е. исследовал технологию строительства земляных домов [10].

За рубежом известны разработки следующих авторов: Г. Минке [11], С. Добсона [12], Г. Шрёдера [13], П. Ветша [14] и др.

Земляная архитектура в российской практике проектирования и строительства широко представлена зданиями в условия сложного рельефа, заглубленными и полузаглубленными в грунт.

Сложность земляного строительства в Среднем Поволжье, и в России в целом, заключается в отсутствии научных разработок по тематике строительства зданий из альтернативных материалов (землебит, мешки с землей, саман, cordwoodmasonry, торфоблоки и т.д.) в отечественной архитектурно-строительной практике, соответствующей нормативной документации.

Цель настоящего исследования - выявить возможность возведения зданий и обозначить возможности конструктивного устройства надземных зданий по землебитной технологии в условиях Среднего Поволжья.

Задачи исследования:

- 1) Анализ исследований в области применения землебитных строений;
- 2) Исследование возможных современных технологий землебита;
- 3) Разработка конструкции наружной ограждающей конструкции землебита применительно к условиям Среднего Поволжья.

2. Материалы и методы

Методика исследования предполагает изучение текстового, графического и иллюстративного материала в отечественной и зарубежной литературе. Материалы исследования в настоящей работе представляют собой архитектурные решения землебитных сооружений с древности до наших дней, представлявших собой традиционный способ возведения сооружений широкого ареала распространения. Методы исследования представляют собой сравнительный анализ архитектурных решений, возможных современных технологий землебита, результатов теплотехнического расчета, нормативной базы земляного строительства в разных странах мира. Особенно ценна возможность проведения экспериментального моделирования в рамках подготовки магистерской диссертации.

3. Результаты

1. История землебитного строительства.

Эта техника называется *pisé de terre* or *terre pisé* (перевод- «утрамбованная земля») на французском; *barro apisonado* or *tapial* («утрамбованная грязь или утрамбованная земля»)- испанском; *stampflehm* (b)au («утрамбованная земляная конструкция»)- немецком. Многие фирмы используют эту технологию на юго-западе США и в Австралии [11].

Наиболее ярко определил концепцию земляного дома архитектор Петер Ветш: «Архитектура будущего не должна доминировать над природой, но она должна подчиняться ей...Цель строительства земляного дома другая: не жить под землей или в земле, а вместе с ней».

Технология строительства из землебита- одна из самых древнейших на Земле, ей около 9000 лет. На территории самого старого города на Земле, Иерихоне (Палестина), найдены глиняные кирпичи, созданные в 7500 г. до н.э. Известно, что на территории современного Ирана, например, сохранились до настоящего времени глинобитные крепости, построенные 1500 лет назад. Так, главной достопримечательностью города Райен на территории Ирана, расположенного у подножия горы Хезар, является крепость, основанная ещё во время правления династии Сасанидов [15]. Подобные постройки в подходящих условиях эксплуатации, жарком и сухом климате, способны функционировать длительное время, разрушаясь только вследствие войн и

землетрясений, что произошло с другим древнеперсидским памятником архитектуры - крепости Арг-е Бам, самые древние постройки которой датированы VII веком, пострадавшей от землетрясения в 2003 году. Обе эти крепости построены из глинобита [16].

Стены крепостей Северо-Восточной Руси вплоть до конца XV века были деревянными. Для противодействия ударам каменных пушечных ядер начали строить стены из двух и даже трех срубных стенок с засыпкой пространства между ними землей или камнями [17].

Таким образом, земля используется в качестве конструкционного материала в фортификационных сооружениях с древности вплоть до средневековья.

Постройки из глино- и землебита встречаются почти в каждой культуре древнего периода. Археологическая зона Касас-Грандес или Пакиме на месте древнего индейского поселения доиспанского периода в Мексике признана археологической зоной Всемирного наследия ЮНЕСКО в 1998 г. [18].

На всем протяжении развития архитектуры человечество неоднократно обращалось к строительству землянок. Подобный тип жилого здания на планете распространен повсеместно: алеутская барабора, молдавская полуземлянка бурдей, традиционные полуподземные землянки берберов в Матмате (Тунис), русская землянка и полуземлянка т.д. Чаще всего, это территории, небогатые древесиной или камнем. Вторая причина строительства такого типа сооружений — это крайне тяжелое экономическое состояние, имеющее место вследствие войн и различных природных катаклизмов (например, временное жилище партизан на оккупированных территориях).

В истории архитектуры встречаются целые жилые комплексы, построенные, например, из глинобита. Айт-Бен-Хадду — это укрепленный город в южном Марокко, с 1987 года находящийся под охраной ЮНЕСКО как памятник Всемирного наследия. Самые древние сооружения относятся к XVII веку, хотя подобные конструкции и технологии возведения были распространены с очень раннего периода в долинах южного Марокко [19].

На территории современной России земляная архитектура традиционно использовалась в качестве жилищ. Массивные стены и значительное заглубление в грунт в суровых климатических условиях способствуют защите от резких перепадов температур и минимальной затрате строительных материалов. В более северных районах здание заглубляли даже на всю высоту стены — так значительно сокращаются теплопотери. Дерновые дома, или торфбайр (torfbaeir), как их называют по-исландски, в основном состояли из доступного в данной местности материала - плоских камней, дёрна, почвы и древесины для каркаса дома. Такие полузаглубленные жилища просуществовали с IX по XVIII век [20].

Особую актуальность подобные сооружения приобретают во времена лишений и глубоких потрясений. Помимо простоты устройства, теплотехнических преимуществ, широкой географии распространения, несомненное достоинство — возможность сделать жилище незаметным.

Приток населения в города в эпоху научно-технической революции исключил возможность использования землебита в качестве конструктивной основы массового жилища ввиду низкой прочности сооружений подобного типа при увеличении высоты зданий. По технологии землебита в этот период возводятся отдельные уникальные объекты, например, Приоратский дворец в Гатчине, и традиционные малоэтажные жилые дома, имеющие ограниченный ареал распространения.

Землебит все чаще начинает использоваться в США с середины 70-х годов XX века в проектах частных резиденций и небольших общественных зданий. Утрамбованная земля в совокупности с технологическими инновациями превращает любое здание поистине в произведение искусства [21].

Стефан Добсон, возглавляющий компанию по строительству утрамбованных земляных сооружений «Ramtec», старейшую в Австралии, с 1976 года построил более 750 подобных сооружений. Австралия лидирует в современном мире по качеству и объему современной утрамбованной земли, полностью стабилизированной цементом, почти полностью несущей и часто незащищенной от воздействия окружающей среды. В

условиях Австралии толщина данной конструкции составляет 300 мм, что, как утверждает исследователь, вполне достаточно для несущей стены 4-х этажного дома. Королевский автомобильный клуб в Виктории (Австралия)- крупнейшее современное здание с землебитом в качестве несущей конструкции [12].

Различные лауреаты Притцкеровской премии создавали архитектурные шедевры из утрамбованной земли, среди которых Ван Шу в Китае с его гостевым домом Wa Shan в кампусе Ханчжоу (2013) и Ренцо Пиано с его Центром неотложной детской хирургии в Уганде, Африка (2019). Другие дизайнеры, такие как Энди Голдсуорси, Ричард Лонг и Ханнсьерг Вотх, дали новый импульс развитию лэнд – арта в виде своих эко-работ из земли.

Следуя свободному принципу формообразования, архитектура землебитных строений способна полностью интегрироваться в рельеф. Используя метод торкретирования бетона, швейцарский архитектор Петер Ветш создает оболочки здания, которые впоследствии обваловываются землей. Преимущественно сферические, пространственно разнообразные формы с отсутствием прямых углов, помимо архитектурной выразительности, позволяют заключить максимальный объем здания при минимальной площади поверхности, тем самым уменьшая энергию, необходимую для отопления [14].

В настоящее время, в постиндустриальную эпоху, характеризующуюся качественным переворотом в методике проектирования зданий, развитием технологий BIM-моделирования, открытием новых конструкционных материалов, наблюдается тенденция отрицания линейного сознания. Возникает понятие «лэндформная архитектура»- архитектура, не обязательно из земли, повторяющая формы ландшафта, сливающаяся с рельефом местности (работы Захи Хадид, Ф.Гери и др.).

Широкое внедрение земляного строительства в 1980-х годах произошло вследствие осознания экологических проблем, а несколько позже привело к разработке в 1990-х годах первых строительных норм «Lehmbau Regeln» для регулирования строительства из земли. Коды DIN для земляного строительства были введены в Германии в 2018 году после интенсивного пятилетнего процесса разработки и в настоящее время остаются – единственными кодами по строительству земли в Европе [22].

В то время как в Португалии по-прежнему отсутствуют конкретные правила для земляного строительства, в США, помимо технических условий, используются фрагментарные ссылки на Строительный кодекс [23].

Помимо США, Германии, Канады, законодательство по строительству зданий из земли развивается в Австралии, Новой Зеландии, Индии, Танзании, Мозамбике, Марокко, Тунисе, Кении [24].

Однако в 2020 году в мире по-прежнему существует только одна школа архитектуры Grenoble School of Architecture (ENSAG) - высшее учебное заведение во Франции, которая выдает государственные дипломы, связанные с этой программой овладения строительством из земли.

Таким образом, можно выделить следующие особенности архитектурных решений землебитных сооружений:

- 1) вне зависимости от места расположения землебитная архитектура традиционного жилища имеет общие черты- заглубление в грунт, массивные стены, дерновое покрытие, простая прямоугольная или сферическая форма;

- 2) архитектурные и конструктивные решения современных зданий по землебитной технологии за рубежом регламентируются нормативными документами, что способствует упрощению процесса проектирования и возведения зданий по данной технологии;

- 3) архитектурные решения землебитных сооружений в настоящее время чаще всего базируются на свободном принципе формообразования, согласовываясь с требованиями не только архитектурной выразительности, возможностями использования современных машин и механизмов для возведения зданий, но и с требованиями компактности объемно-планировочного решения, реализуя тем самым требования эффективного использования энергии для отопления зданий.

4) массивные земляные стены в жарком климате предотвращают перегрев здания, в холодном способствуют сохранению тепла.

2. Возможности конструктивного устройства землебитных стен в Среднем Поволжье

Архитектура на основе природных скальных грунтов - особый и довольно широко изученный пласт традиционной архитектуры в местности, богатой подобными материалами. В настоящем исследовании целесообразно обратить внимание на архитектуру с использованием природных дисперсных грунтов в качестве конструкционного материала, состоящих из глины, торфа, песка, крупнообломочных грунтов.

Основной материал – песчано-глинистые грунты. Состав грунтомамы может варьироваться в зависимости от сырья, имеющегося на стройплощадке. Чаще всего главными составляющими являются: гравий 3-7мм – 4%; песок – 58%; пылеватый песок (мелкая земля) – 20%; глина – 18%. Для повышения водостойкости добавляют к смеси 3% портландцемента (от общей массы смеси). Если применять грунт, выкопанный для устройства фундамента, то его будет достаточно для возведения 25% стен дома.

Однородная землебитная стена, без утеплителя, в наших климатических условиях Среднего Поволжья не способна обеспечить требуемое сопротивление теплопередаче ($R^{тр} = 3,27 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$), а соответственно обеспечить комфортные условия. Теоретически, для этого понадобилось бы возводить стену толщиной 2,5 метра.

Современная экологически чистая технология SIREWALL (Stabilized Insulated Rammed Earth Wall - с англ. «стабилизированная изолированная утрамбованная земляная стена») основана на использовании в строительстве местного грунта. Для возведения стен применяют неорганическую смесь (в отличие от саманной технологии) из земли, небольшого количества цемента и воды, добавляя стальную арматуру и толстый слой жесткой изоляции [25].

Таблица 1

Теплотехнический расчет стены по землебитной технологии SIREWALL для условий Среднего Поволжья

Среднего новостройки				
Тип конструкции стены, коэффициент теплотехнической однородности, γ	Слои стены	Коэффициент теплопро- водности, λ , Вт/ (м·°C)	Толщина слоя, δ , м	Сопротивление теплопередаче, R , (м ² ·°C)/Вт
Землебит, $\gamma=0,71$	1- штукатурка	0,93	0,02	4,07
	2- землебит	0,7	0,4	
	3- жесткая теплоизоляция	0,034	0,15 (по расчету 0,11)	
	4- землебит	0,7	0,4	
	5- штукатурка	0,93	0,02	
	Общая толщина стены – 0,99 м			
Коэффициент теплотехнической однородности γ принимается по аналогии, СТО 00044807-001-2006 Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий, табл.8				

Теплотехнический расчет стены по технологии SIREWALL, выполненный для климатических условий Среднего Поволжья (г.Йошкар-Ола, $R^{тр} = 3,27 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$), позволяет заключить, что трехслойная землебитная стена с жесткой теплоизоляцией внутри позволяет обеспечить сопротивление теплопередаче конструкции $R = 4,07 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, что не меньше требуемого (табл.1).

Тем не менее, распространённая в США система возведения стен SIREWALL в климатических условиях Среднего Поволжья не может быть применена. В переходные сезоны года в наружном слое землебита может накапливаться конденсат, а при положении нулевой изотермы внутри него велика вероятность температурных деформаций и, как следствие, появления трещин. Целесообразно утепление землебита снаружи, для того чтобы исключить положение точки росы в наружном слое землебита (рис.1,2).

В условиях Среднего Поволжья толщину землебитного слоя допускается уменьшить из соображений экономии материала согласно конструктивным требованиям до 500 мм. При этом толщина теплоизоляционного слоя возрастает, причем незначительно (по расчету – 0,13 м; принимаем 0,15 м) (рис.3). Общая толщина стены составляет 0,69 м.

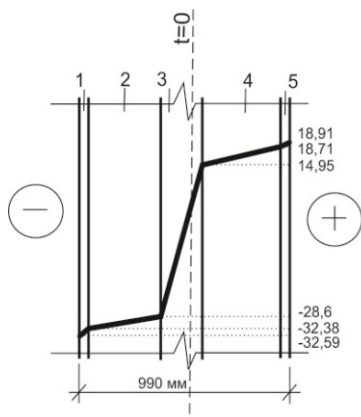


Рис. 1. Распределение температур в ограждающей конструкции по технологии SIREWALL (рисунок автора):

1,5 -штукатурка; 2,4- землебит; 3- жесткая теплоизоляция

Fig. 1: Temperature distribution in the building envelope using SIREWALL technology (drawing by the author):

1.5 - plaster; 2.4 - earth bit; 3- rigid thermal insulation

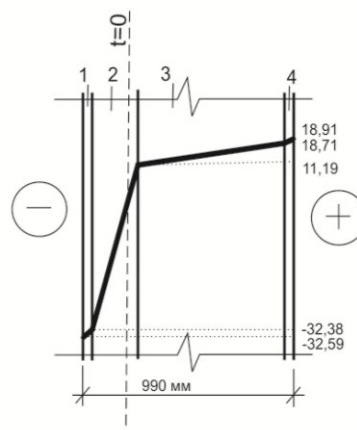


Рис. 2. Распределение температур в ограждающей конструкции по технологии SIREWALL для климатических условий Среднего Поволжья с утеплителем снаружи (рисунок автора):

1,4 -штукатурка; 2- жесткая теплоизоляция,3- землебит.

Fig.2: Temperature distribution in the building envelope using SIREWALL technology for the climatic conditions of the Middle Volga region with insulation from the outside (author's drawing):

1,4 - plaster; 2- rigid thermal insulation, 3- earth bit.

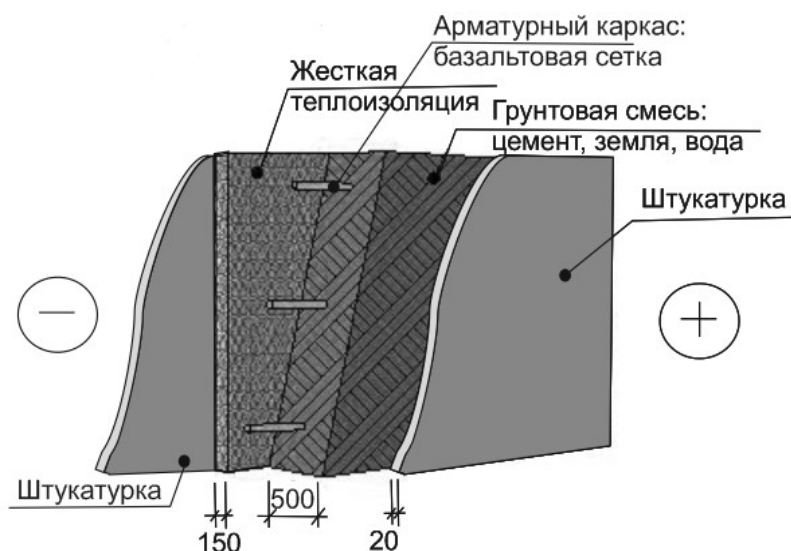


Рис. 3. Разрез стены по технологии SIREWALL согласно экономическим, конструктивным и теплотехническим требованиям для климатических условий Среднего Поволжья с утеплителем снаружи (рисунок архитектора Целищевой Е.А.)

Fig.3: Wall section according to SIREWALL technology according to economic, structural and heat engineering requirements for the climatic conditions of the Middle Volga region with insulation from the outside (drawing by architect Tselishcheva E.A.)

4. Обсуждение

Исследователи сходятся во мнениях, перечисляя преимущества землебитной технологии:

1. Экономия денежных средств. Землебитные дома стоят в 5 раз дешевле, чем кирпичные или бетонные. В этом же сравнении трудозатраты и затраты на топливо снижаются в 1,5 раза, а экономия на транспорте почти в 5 раз.
2. Высокая прочность стен, увеличивающаяся с течением времени.
3. Экологичность и пожаробезопасность.
4. Высокая термальная масса, которая предотвращает резкую смену микроклимата в помещении [26].

В Австралии, с её не похожими на наши климатическими условиями, необходимая толщина землебитных стен определяется лишь конструктивными требованиями и составляет 250- 450 мм [27]. В Швеции исследователи рекомендуют стену толщиной 500 мм с последующим утеплением [28].

Стены из землебита некоторые исследователи предлагают устраивать с северной стороны, обеспечивая тем самым надежную защиту от неблагоприятного воздействия климата [29]. Прохладный летом, теплый зимой, дом из утрамбованной земли — это идеальный экологически устойчивый, «зеленый» дом, который дает каждому владельцу уникальное ощущение спокойствия и уединения, сводя к минимуму выбросы углекислого газа.

Устройство землебитных стен предъявляет особые требования к устройству фундаментов. Полимерные стабилизированные земляные фундаменты использовались для возведения одноэтажных земляных стен в доме в Южной Африке [30].

Некоторые производители за рубежом, например, Herzog & de Meuron Architects (Швейцария), Lehm Ton Erde Baukunst GmbH и ERDEN Lehm - bau GmbH (Австрия) изготавливают сборные утрамбованные земляные элементы для изготовления несущих наружных или внутренних стен толщиной от 25 до 30 см весом до 5 тонн [13]. Данное обстоятельство, на мой взгляд, является очень перспективным направлением развития отечественной архитектуры строительства из утрамбованной земли, что значительно позволит упростить процесс возведения зданий.

Все более широкое применение методов земляного строительства в строительной практике неминуемо вызывает новые проблемы, такие как восстановление нормативной базы, контроль качества, квалифицированная профессиональная подготовка и образование в области земляного строительства- это одни из ключевых аспектов развития технологии земляного строительства. В рамках подготовки магистров по направлению «Архитектурно-конструктивное проектирование зданий» автором проводится научно-исследовательская работа с будущими специалистами по разработке концепций «зеленого» строительства.

Примером может служить диссертация на соискание магистерской степени «Архитектурно-пространственная организация объектов земляной архитектуры» Целищевой Е.А., посвященная разработке теоретических основ и принципов проектирования земляной архитектуры, изучению возможных методов устройства земляных стен. Полученные результаты использованы в проектировании базы отдыха в Горномарийском районе Республики Марий Эл, к северо-востоку от г. Козьмодемьянск, вблизи исторической достопримечательности данного региона - горы Аламнер (рис.4).

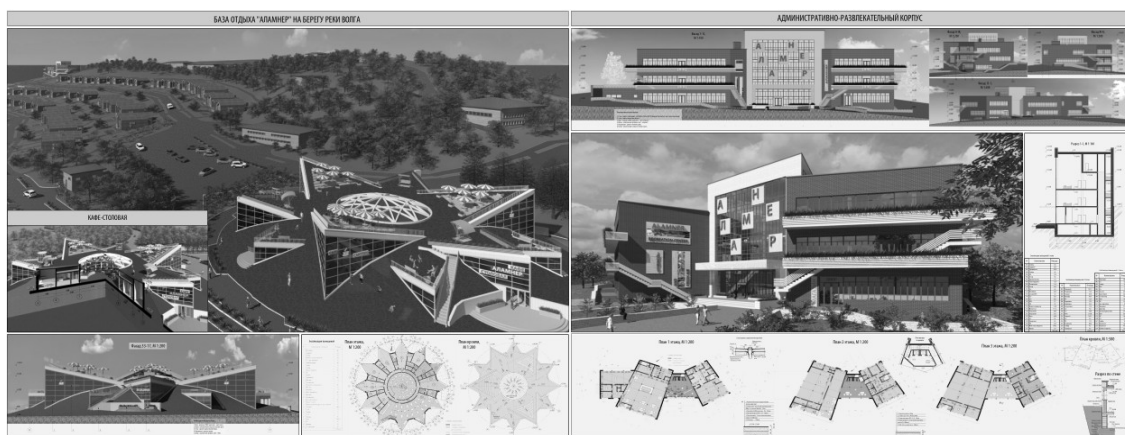


Рис. 4. Кафе «Аламнер». Фрагмент диссертации на соискание магистерской степени «Архитектурно-пространственная организация объектов земляной архитектуры» Целищевой Е.А., руководитель – к.арх., доцент Смирнова С.Н., ПГТУ, Йошкар-Ола, диплом 2 степени на X Международном фестивале архитектурно-строительных школ Евразии и международном смотре-конкурсе лучших выпускных работ (<https://festival.sibstrin.ru/>), Казахстан, 2021 г.

Fig.4: Cafe "Alamner". Fragment of the dissertation for the master's degree "Architectural and spatial organization of objects of earthen architecture" Tselishcheva E.A., supervisor - Ph.D., associate professor Smirnova S.N., PSTU, Yoshkar-Ola construction schools of Eurasia and the international review competition of the best graduation works (<https://festival.sibstrin.ru/>), Kazakhstan, 2021

5. Заключение

1. Технология земляного строительства используется на протяжении всей истории человечества, с древности, с VIII в. до н.э., до наших дней для устройства фортификационных сооружений и жилых комплексов. Земляная архитектура XX-XI века богата примерами общественных зданий.

2. Архитектурные шедевры из утрамбованной земли создают известные архитекторы, такие как Ван Шу, Р.Пиано, П.Ветш, С.Добсон и др. Данная технология в настоящее время широко используется по всему миру для строительства не только жилых малоэтажных зданий усадебного типа: Швеции, Великобритании, Австрии, Германии, Франции, США, Австралии, странах Африки. Земляная архитектура тесным образом соотносится с приоритетной в мире, угрожающим экологическими катастрофами на фоне глобального изменения климата вследствие непродуманной хозяйственной деятельности человека, концепцией устойчивого развития, направленной на экологизацию всех сфер деятельности человека, в первую очередь строительства.

3. Особенности архитектурных решений земляных сооружений заключаются в свободном принципе формообразования, способности полностью интегрироваться в рельеф местности. Форма зданий может варьироваться - от линейно однозначных до пространственно разнообразных криволинейных форм с отсутствием прямых углов. Данные особенности выявлены в ходе рассмотрения истории строительства землебитных сооружений.

4. На территории Среднего Поволжья целесообразно устройство землебитных стен по технологии «стабилизированная изолированная утрамбованная земляная стена» с добавлением портландцемента, но с утеплением снаружи. Толщина стены достигает 0,69 метров (0,5 м –землебит, 0,15 м- жесткая теплоизоляция).

Список библиографических ссылок/ References

1. Айдарова Г.Н. Альтернативная архитектура. Культурологический аспект. / В сб.: Искусство и этнос: новые парадигмы. – Казань: Изд-во «Дом печати», 2002. – 168 с.[Aidarova G.N. Alternative architecture. Cultural aspect. / In the collection: Art and Ethnicity: New Paradigms. – Kazan: Publishing house of the Press, 2002. – 168 p.]
2. Давиденко П. Н., Петрова З. К. О проектировании ресурсосберегающей и экологической жилой среды. // Жилищное строительство. 2003. № 9. С. 3–11.[Davidenko P. N., Petrova Z. K. On the design of resource-saving and ecological living environment. // Housing construction. 2003. № 9. P. 3–11.]

3. Лебедев Ю.С. Архитектура и бионика. – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1971. – 119 с.[Lebedev Yu.S. Architecture and bionic. – M.: Publishing House of the literary-ry of construction, 1971. – 119 p.]
4. Витюк Е.Ю. Экоподход как источник новых архитектурных направлений // Архитектон: известия вузов, 2010, № 31 (03). URL: http://archvuz.ru/2012_2/12 (дата обращения: 27.06.2022).[Vityuk E.Y. Ekopodkhod as a source of new architectural trends // Architecton: izvestiya vuzov, 2010, No. 31 (03). URL: http://archvuz.ru/2012_2/12 (дата обращения: 27.06.2022).]
5. Витюк Е.Ю., Умори́на Ж.Э. Природные технологии как новый принцип формообразования в архитектуре. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018;(4):55-64. URL: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-4-55-6412> (дата обращения: 27.06.2022).[Vityuk E.Yu., Humorina J.E. Natural technologies as a new principle of shaping in architecture. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2018;(4):55-64. URL: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-4-55-6412> (дата обращения: 27.06.2022).]
6. Тетиор, А.Н. Городская экология: учеб. пособие для вузов/ А.Н.Тетиор.- М.: Издательский центр «Академия», 2006.- 336с.[Tetior A.N. Urban ecology. – M.: Academy, 2007. – 336 p.]
7. Черешнев И.В. Метод архитектурно-бионического моделирования экологической архитектуры жилища / И. В. Черешнев // Архитектура и строительство России. - 2014. - № 4. - С. 20-25.[Chereshnev I.V. Method of architectural and bionic modeling of ecological architecture of housing / I. V. Chereshnev // Architecture and construction of Russia.- 2014. - № 4. - С. 20-25]
8. Иовлев В.И. Архитектурно-экологическое формообразование // Архитектон: известия вузов, 2006, № 15 (06). URL: http://archvuz.ru/2006_3/1 (дата обращения:27.06.2022).[Iovlev V.I. Architectural and ecological shaping // Architecton: proceedings of higher education, 2006, № 15 (06). URL: http://archvuz.ru/2006_3/1 (reference date:19.01.2016).]
9. Русанова Е. А. Объекты земляной архитектуры как метафоры природы в городском ландшафте : С использованием материалов на основе грунтов : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры : 18.00.04 / Моск. архит. ин-т.- Москва, 1998.- 29 с.: ил. [Rusanova E. A. Objects of earth architecture as metaphors of nature in the urban landscape : Using materials based on soils : abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Architecture : 18.00.04 / Moscow. archit. in-T.- Moscow, 1998.- 29 p.: ill.]
- 10.Зубкин В. Е. Зонное нагнетание сыпучих сред, или как строить из обыкновенной земли весьма дешевые, прочные, теплые и огнестойкие дома посредством «Русских качелей». Практическое пособие – 2-е изд., дораб. и доп. / Зубкин В. Е., Коновалов В. М., Королев Н. Е. – М.: ООО «ИнноЦентр.Ру», 2011. – 160с.: ил.[Zubkin V. E. Zone injection of bulk media, or how to build very cheap, durable, warm and fire-resistant houses from ordinary earth by means of "Russian swings". Practical guide – 2nd ed., dorab. and additional / Zubkin V. E., Kononov V. M., Korolev N. E. – M.: Innocenter LLC.Ru", 2011. – 160с.: ill.]
- 11.Gernot Minke. Building with Earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture/ Birkhäuser – Publishers for Architecture, Basel- Berlin- Boston, 2006. 200 p.
- 12.S. Dobson. Rammed earth in the modern world: Rammed Earth Construction. Cutting-Edge Research on Traditional and Modern Rammed Earth/ Taylor & Francis Group, London, 2015. P. 3-11. DOI: 10.1201/b18046
- 13.H. Schroeder. Clay boards and panels—an innovative earth building product for drywall construction: Earthen Architecture: Past, Present and Future. Edited ByC. Mileto, F. Vegas, L. García Soriano, V. Cristini/ Taylor & Francis Group, London, UK, 2015. 373 p. <https://doi.org/10.1201/b17392>
14. Peter Vetsch. URL: <https://venusarchitecture.com/en/peter-vetsch.html> (дата обращения: 08.04.2021).
- 15.Rayen; the undetected treasure of the desert of Iran. URL: <http://www.rayen.ir/info/info.asp?id=8> (дата обращения: 08.04.2021).

16. Крепость Арг-е Бам – памятник величию Древней Персии. URL: <https://putidoroginn.ru/aziya/70-krepost-arg-e-bam> (дата обращения: 08.04.2021). [The fortress of Arg-e Bam is a monument to the greatness of Ancient Persia. URL: <https://putidoroginn.ru/aziya/70-krepost-arg-e-bam> (reference date: 08.04.2021).]
17. Раппопорт П.А. Древние русские крепости. Издательство «Наука». Москва, 1965, 87 с., ил. [Rappoport P.A. Ancient Russian fortresses. Publishing house «Nauka». Moscow, 1965, 87 p., ill.]
18. F. J. Soria, L. F. Guerrero & A. B. García. Traditional rammed earth construction: Conservation of built heritage in México. Conference Paper September Volume: 118 2011. P. 497-506. DOI: 10.2495/STR110411
19. Ksar of Ait-Ben-Haddou. URL: <http://whc.unesco.org/en/list/444> (дата обращения: 08.04.2021).
20. All About Icelandic Turf Houses and Which Ones to Visit. URL: <https://www.icelandtravel.is/blog/icelandic-turf-houses/> (дата обращения: 08.04.2021).
21. Rammed Earth Works. URL: <https://www.rammedearthworks.com> (дата обращения: 08.04.2021).
22. S. Jörchel. Modern Earth Building – the Current State of Earth Building from a German Perspective//IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019. June. DOI:10.1088/1755-1315/290/1/012018.
23. Pilar Abreu e Lima, Clara Pimenta do Vale, Joana Marques. Rammed Earth Construction Nowadays - Comparing Methodologies and Design Between Portugal and USA. Conference: Terra 2016: XIIe congrès mondial sur les architectures de terre July, 2016. DOI:10.13140/RG.2.2.34811.92963.
24. T. Krahn, P.Eng. Essential rammed earth construction: the complete step-by-step guide. New society publishers. Canada, 2019. 147 p.
25. What is SIREWALL? URL: <https://sirewall.com/sirewall-system/> (дата обращения: 08.04.2021).
26. Глинобитные дома: технология строительства землебитных домов. URL: <https://framehouse16.ru/sovety/glinobitnye-doma-tehnologiya-stroitelstva-zemlebitnyh-domov.html> (дата обращения: 22.09.2021). [Adobe houses: technology of construction of earthen houses URL: <https://framehouse16.ru/sovety/glinobitnye-doma-tehnologiya-stroitelstva-zemlebitnyh-domov.html> (reference date: 22.09.2021).]
27. Rammed Earth Technical Information. URL: <https://www.rammedearthenterprises.com.au/rammed-earth-information-for-professionals/> (дата обращения: 22.09.2021).
28. David Martínez Escobar. Earth architecture building with rammed earth in a cold climate/ Master Programme Design for Sustainable Development Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2013. 207p.
29. Francisco Javier Castilla Pascual, A. Baño Nie. Embodied energy assessment of rammed earth construction in Pozuelo de Alarcón (Madrid, Spain), May 2012. DOI:10.1201/b15164-82
30. Paul Marais, John Littlewood, George Karani. Use of Polymer Stabilised Earth Foundations for Rammed Earth Construction//Article in Energy Procedia · December 83 (2015) P. 464-473. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.12.166

Информация об авторах.

Светлана Николаевна Смирнова, кандидат архитектуры, доцент, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Российская Федерация
Email: smirnovskie_ns@mail.ru

Information about the authors.

Svetlana N. Smirnova, candidate of architecture, assistant professor, Volga state university of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation
Email: smirnovskie_ns@mail.ru



УДК: 712

DOI: 10.52409/20731523_2022_2_93

EDN: DHZKEE



Архитектурно-пространственные и архитектурно-планировочные особенности зданий и сооружений в городских садах Казани на период второй половины XIX – начала XX вв.

М.Ш. Фазлеев¹, А.Р. Минибаева¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Г.Казань, Российская Федерация.

Аннотация: Актуальность исследования заключается в том, что в Республике Татарстан, в частности г. Казани, в рамках региональных и национальных проектов особое внимание уделяется реконструкции и реставрации исторических садов, в связи с чем появляется необходимость в обращении к их истории с целью сохранения исторического облика города. Целью исследования является выявление архитектурно-пространственных и архитектурно-планировочных особенностей зданий и сооружений, расположенных на территориях городских садов Казани на период второй половины XIX – начала XX в. В число задач исследования входят: изучение иконографических и архивных материалов, касающихся темы исследования; рассмотрение исторических и современных исследований на указанную тему; выполнение, на основе изученных библиографических, иконографических и архивных материалов, систематизации по основным архитектурным признакам.

В результате исследования были выявлены основные архитектурно-пространственные и архитектурно-планировочные особенности, зданий и сооружений расположенных на территориях садов Казани на период второй половины XIX – начала XX вв.

Систематизация исследуемых зданий и сооружений, позволила установить и зафиксировать, что на территориях общественных городских садов Казани в указанный период преобладали – 1-2 этажные, с симметричными фасадами, стационарные здания и сооружения временного назначения, средних размеров – до 50 кв. саж., в равных количествах имелись объекты, предназначенные как для общественной деятельности посетителей, так и для их обслуживания.

Сделан вывод, что значимость полученных результатов для науки и практики состоит в возможности ориентироваться на проделанное исследование в процессе реконструкции и проектировании новых объектов озеленения в историческом центре Казани с целью сохранения исторического облика города. Также материалы исследования могут быть использованы в курсе лекций, посвященных истории архитектуры в строительных и архитектурных учебных заведениях РТ и Поволжья.

Ключевые слова: архитектура зданий и сооружений в садах, исторический центр города Казани, систематизация зданий и сооружений, архитектурно-планировочные особенности, архитектурно-пространственные особенности.

Для цитирования: М. Ш. Фазлеев, А. Р. Минибаева, Архитектурно-пространственные и архитектурно-планировочные особенности зданий и сооружений в городских садах Казани на период второй половины XIX – начала XX вв./Известия КГАСУ 2022 № 2 (60), с.93-103, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_93, EDN: DHZKEE

Architectural-spatial and architectural-planning features of buildings and buildings in the city gardens of Kazan for the period of the second half of the 19th - early 20th centuries.

M.Sh. Fazleev¹, A.R. Minibaeva¹,

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract: The relevance of the study lies in the fact that in the Republic of Tatarstan, in the city of Kazan, within the framework of regional and national projects special attention is paid to the scale of reconstruction and restoration of private gardens, and therefore there is a need to refer to their history in order to preserve the historical appearance of the city. The purpose of the study is to identify architectural-spatial and architectural-planning features of buildings and structures located on the territories of Kazan city gardens for the period of the second half of the XIX – early XX century. The objectives of the research include: the study of iconographic and archival materials related to the research topic; consideration of historical and modern research on this topic; the implementation of systematization based on the studied bibliographic, iconographic and archival materials, according to the main architectural features.

As a result of the study, the main architectural-spatial and architectural-planning characteristics of buildings and structures located in the territories of the gardens of Kazan for the period of the second half of the 19th - early 20th centuries were identified.

The systematization of the studied buildings and structures made it possible to establish and record that in the territories of the public city gardens of Kazan in the specified period, 1-2 storey, with symmetrical facades, multi-season buildings and temporary structures, of medium size - up to 50 sq. sazhen., in equal numbers there were objects intended both for the public activities of visitors and for their service.

It is concluded that the significance of the obtained results for science and practice is the ability to focus on the research done in the process of reconstruction and design of new landscaping facilities in the historical center of Kazan in order to preserve the historical appearance of the city. Also, the research materials can be used in the course of lectures on the history of architecture in construction and architectural educational institutions of the Republic of Tatarstan and the Volga region.

Keywords: architecture of buildings and structures in the gardens, historical center of the city of Kazan, systematization of buildings and structures, architectural and planning features, architectural and spatial features.

For citation: A.R. Minibaeva, M.Sh. Fazleev Architectural-spatial and architectural-planning features of buildings and buildings in the city gardens of Kazan for the period of the second half of the 19th - early 20th centuries// News KSUAE 2022 №2 (60) , p.93-103, DOI:10.52409/20731523_2022_2_93, EDN: DHZKEE

1. Введение

В настоящее время, архитектурные объекты, расположенные на территориях зеленых насаждений, размещают с целью создания для посетителей наиболее благоприятных условий, для: прогулок, активного отдыха, развлечений и т.д. которые не отличаются смысловой и архитектурно-стилистической значимостью. Данные объекты преимущественно предназначены для кратковременного времяпровождения, поэтому в большинстве случаев представляют собой быстровозводимые, сезонные конструкции, непосредственно связанные с планировочной структурой сада [1-4].

В период с середины XIX – нач. XX вв. зданиям и сооружениям, расположенным на территориях общественных городских садов Российской Империи, как и в других странах, уделялось особое значение, т.е. они отличались от других общественных сооружений тем, что оказывали огромное влияние на облик городов и соответствовали потребностям горожан разных сословий [4-6].

В садах данного периода создавалась далекая от обыденности празднично-феерическая атмосфера. Характер архитектурных объектов отражал стилистику искусства, тяготевшего к необычному. Достаточно часто владельцы и арендаторы общественных городских садов ставили перед собой задачу организации зрелищ, способных ознакомить обывателей с завоеваниями новейшей техники и культуры, а также показать величие Российской Империи [4].

В последние десятилетия, в РТ, в частности г. Казани, в рамках региональных и национальных проектов – "Формирование комфортной городской среды", «Жилье и городская среда» и т.д., особое внимание уделяется реконструкции и реставрации исторических садов, в связи с чем появляется необходимость в обращении к их истории с целью сохранения исторического облика города [7]. Стоит отметить, что целый ряд строений располагавшихся на территориях исторических садов Казани не сохранились до наших дней и никогда не были изучены.

Также данная тема является актуальной с позиции вопросов, поднимаемых в области архитектурно-реставрационного проектирования. Архитектурный облик общественных сооружений, в том числе зданий и сооружений на территориях общественных городских садов, расположенных на территории Казани в XIX в. имеет много общего с общественными сооружениями, расположенными на территории Российской Империи, причиной данного сходства явилось издание типовых проектов, в указанный период, которые были рекомендованы к исполнению во всех городах государства [8]. Однако архитектура зданий и сооружений, расположенная на территориях общественных городских садов Казани, имеет свои особенности, которые стали следствием влияния региональных особенностей: климатических условий, особенностей рельефа, имеющихся природных строительных материалов, стилистические наслоения, мировоззрения местного населения и т.д.

Следует отметить, что архитектура зданий и сооружений на территориях исторических городских садов Казани на период середины XIX – начала XX вв. до настоящего времени подробно не исследована. Сами исторические городские сады, расположенные на территории Казани, были изучены отдельными исследователями, в частности – аспирантами Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) были проведены исследования: «Архитектурно-пространственное развитие городских садов и парков Казани в советский период», в котором рассматривается исторический опыт развития садов и парков Казани советского периода; «Архитектурно-планировочные принципы формирования озеленения в историческом центре города: на примере г. Казани» где рассмотрены исторические аспекты формирования озеленения городов; исследования С.Х. Исмагиловой в которых поднимаются вопросы, связанные с архитектурно-градостроительной реконструкцией как РТ в целом, так и исторических садов и др. [9, 10].

Общие теоретические вопросы относительно исторических садов Казани в современных исследованиях отражены в трудах таких ученых и краеведов как: Жаржевский Л.М., Лисевич М.М., Павлов М.Н., Новицкий А.И., Айдарова Р.С. и др. Данные исследования, при написании статьи, легли в основу выявления архитектурно-планировочных особенностей зданий и сооружений, расположенных в садах Казани в исследуемый период [11-13].

Фундаментальные основы изучения садов Казани наиболее полно рассмотрены в трудах следующих авторов: Дульский П.М., Загоскин Н.П., Катанов Н.Ф., Пинегин М.Н., Турнерелли Э.П. и др. [14-18].

Достаточно много внимания уделяется исследованиям исторических садов, а также архитектурных объектов на их территориях, в зарубежных исследованиях. Особое внимание уделяется вопросам их сохранения, приспособления и модернизации, в частности такими исследователями как - Annet Kempenaar, Myeong-JunLee, Angeliki Paraskevopoulou, Hilary A. Taylor, Andreas Klados, Chrysovalantis Malesios, Adri van den Brink и др. [1-3, 5].

Цель исследования заключается в выявлении архитектурно-пространственных и архитектурно-планировочных особенностей зданий и сооружений, расположенных на территориях городских садов Казани на период второй половины XIX – начала XX в.

Перечень задач, намеченных к решению:

- изучить иконографические и архивные материалы касающиеся темы исследования;
- рассмотреть исторические и современные исследования на указанную тему;
- систематизировать, по основным архитектурным признакам, здания и сооружения, расположенные на территориях садов Казани в исследуемый период.

2. Материалы и методы

В качестве материалов для исследования использованы:

- архивные материалы, хранящиеся в Национальном архиве Республики Татарстан (НАРТ), Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского федерального университета.
- литературные источники, хранящиеся в Национальной библиотеке Республики Татарстан, библиотеке Казанского государственного архитектурно-строительного университета
- изучались издания, впервые опубликованные до сер. XX в., касающаяся истории и архитектуры г. Казань.
- материалы Национального музея РТ.

Методы исследования базируются на системном и комплексном подходе, включая методы сопоставления, систематизации, анализа и синтеза собранных архивных, библиографических, письменных, графических материалов и натурных исследований.

Метод систематизации включает рассмотрение основных архитектурных признаков зданий и сооружений [19]. При систематизации было произведено распределение объектов архитектуры, расположенных в садах согласно группам подобия и различия между ними. При составлении систематизации были использованы материалы НАРТ – генпланы садов, проекты зданий и сооружений, расположенных в садах и т.д.

В разделе систематизации были рассмотрены объекты, расположенные на территориях следующих общественных городских садов [15, 17, 18, 20]: Сад Аркадия, Банноозерский сад, Державинский сад, Износковский сад / сад Николай / сад Эрмитаж, Лобачевского сквер, Сад Лещого / Лядской сад, Мокринский садик, Николаевский сквер, Панаевский сад, Сад Русская Швейцария, Триволи сад / Андреевский сад / Дудоровский сад, Театральный сад, Фуксовский сад, Юнусовский сад, Черноозерский сад.

Также в процессе исследования были выполнены авторские реконструкции зданий и сооружений согласно материалам НАРТ.

3. Результаты

Анализ архитектурно-пространственного размещения зданий и сооружений в общественных городских садах Казани на период второй половины XIX – начала XX вв. позволил выявить следующие особенности садов Казанского края в указанный период (рис. 1) [9, 15, 17, 18, 20-26]:

- в большинстве случаев общественные городские сады Казани преимущественно располагались на участках не пригодных для жилья – у оврагов, в местах засыпанных озер и т.д. В связи с чем конструкции сооружений были легкими, а их фундаменты свайными;

- участки общественных городских садов располагались в структуре города таким образом что здания и сооружения, расположенные на их территориях, просматривались с прилегающих к ним окружающих пространств;

- основное строительство зданий и сооружений и развитие их архитектуры в общественных городских садах приходится на конец XIX в.;

- в большинстве случаев в общественных городских садах был образован центр, сформированный группой наиболее значимых и часто посещаемых зданий, которые представляли собой – строения доминанты;

- расположение строений на территориях общественных городских садов, в большинстве случаев, не имело определенной пространственной структуры, все

сооружения были привязаны к рельефу, визуальным связям и наличию мест на территории;

– в большинстве случаев строения в общественных городских садах образовывали полуоткрытый тип пространственной структуры и не всегда просматривались между собой.



Рис.1. Архитектурно-пространственное размещение зданий и сооружений в общественных городских садах Казани на период второй половины XIX – начала XX вв.

Fig.1. Architectural and spatial placement of buildings and buildings in the city gardens of Kazan for the period of the second half of the 19th - early 20th centuries.

(Иллюстрация авторов. Источник фотографий: <https://pastvu.com>
Illustration by the authors. Photo source: <https://pastvu.com>)

Анализ архитектурно-планировочных особенностей зданий и сооружений в общественных городских садах Казани на период второй половины XIX – начала XX вв. позволил выявить следующие особенности Казанского края в указанный период [15, 17, 18, 20-26]:

-наиболее значимые объекты, такие как – рестораны, вокзалы (устар. здание для увеселения), общественные клубы, театры и т.д. представляют собой 2-этажные, симметричные строения. Преобладающие планировочные структуры зальная и коридорно-кольцевая. Форма данных сооружений образованна как простыми, так и сложными геометрическими фигурами (рис. 2а);

-объекты второстепенной значимости, представляют собой 1-этажные, симметричные строения. Преобладающая планировочная структура зальная. Форма данных сооружений образованна как простыми, так и сложными геометрическими фигурами (рис. 2б);

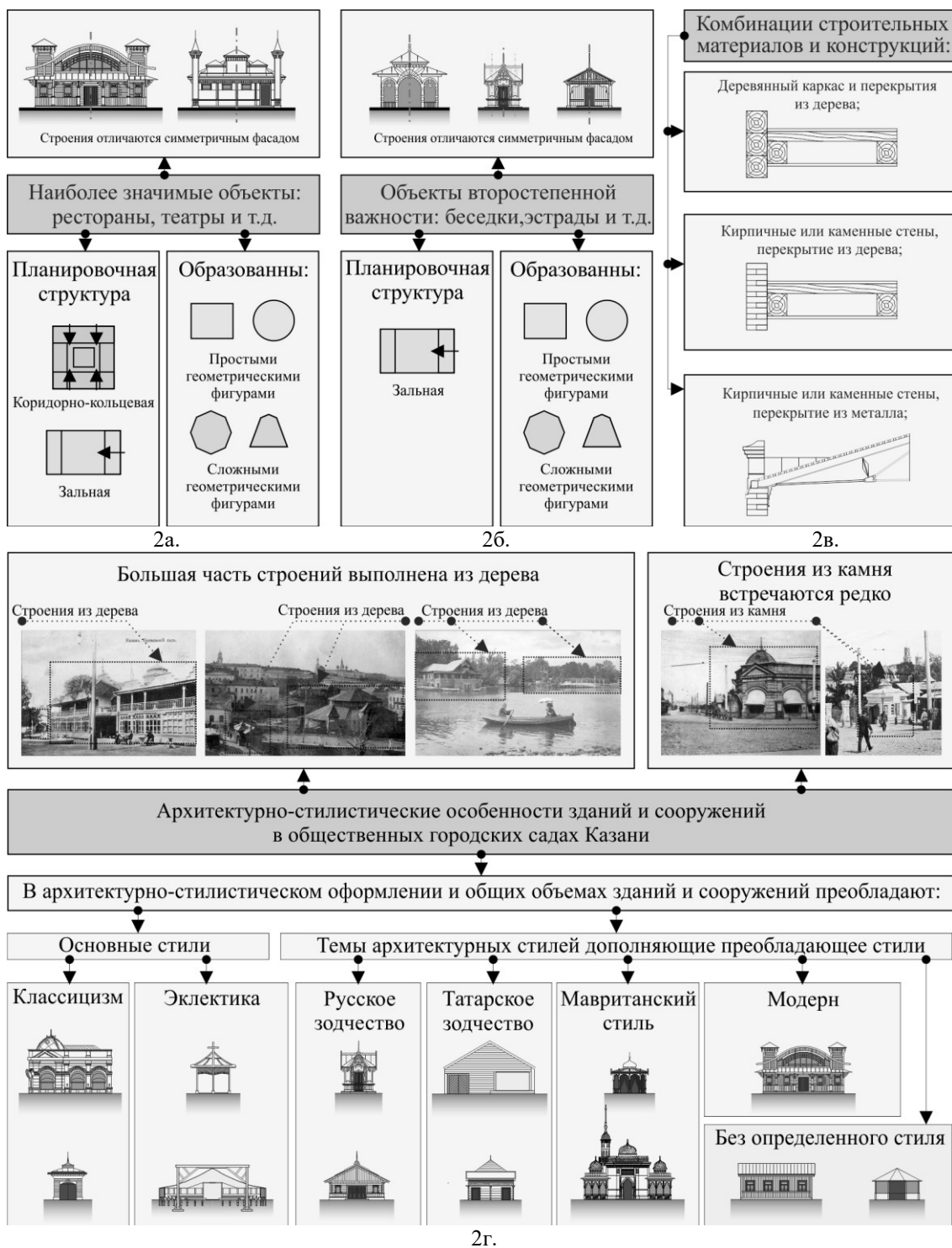


Рис.2. Архитектурно-планировочные решения зданий и сооружений в общественных городских садах Казани на период второй половины XIX – начала XX вв.

Fig.2. Architectural and planning solutions for buildings and structures in the public city gardens of Kazan for the period of the second half of the 19th - early 20th centuries.

2а. Схема архитектурно пространственных особенностей наиболее значимых объектов;
2б. Схема архитектурно пространственных особенностей второстепенных по значимости объектов;

2в. Схема типов комбинаций строительных материалов и конструкций объектов;

2г. Схема архитектурно стилистических особенностей зданий и сооружений.

(Иллюстрация авторов. Источник фотографий: <https://pastvu.com>
Illustration by the authors. Photo source: <https://pastvu.com>)

-выявлены следующие комбинации строительных материалов и конструкций: деревянный каркас и перекрытия из пиломатериалов; кирпичные или каменные стены, перекрытие из пиломатериалов; кирпичные или каменные стены, перекрытие из металла. Большая часть строений выполнена из срубных конструкций и пиломатериалов, строения из кирпича и природного камня встречаются редко (рис. 2в);

-в архитектурно-стилистическом оформлении и общих объемах зданий и сооружений преобладают архитектурные стили – эклектика и классицизм, встречаются вариации элементов русского деревянного зодчества, татарского деревянного зодчества, мавританские мотивы и стиль модерн. Также на территориях садов присутствуют строения, не имеющие определенного стилистического направления, но достаточно часто встречающиеся на территории Российской Империи (рис. 2г).

Далее рассмотрим систематизацию архитектуры зданий и сооружений в городских садах Казани на период второй половины XIX – начала XX вв. по основным архитектурным признакам. Данная систематизация основывается на сопоставлении исторических генпланов садов Казани и выявленных на их территориях архитектурных объектов. Данный анализ наиболее полно характеризует архитектурно-пространственные и архитектурно-планировочные особенности зданий и сооружений садов Казани в исследуемый период.

Результаты систематизации исследований [15, 17, 18, 20-26]:

1. По категории архитектурных объектов. Данный анализ показал, что в садах преобладают сооружения средних размеров (30%), затем крупные строения (20%) и утилитарные сооружения (20%), в меньшей степени присутствуют элементы архитектурно художественного назначения (10%).

2. По функциональному назначению. Данный анализ показал, что в садах строения, предназначенные для общественной деятельности - т.е. развлекательного, культурно-досугового, учебного назначения, а также для обеспечения бытовых потребностей – т.е. обслуживания, здравоохранения, временного проживания, составляют приблизительно равное количество. Среди сооружений, предназначенных для общественной деятельности людей, большее количество составляют здания и сооружения для культурно досуговой деятельности – театры, вокзалы, рестораны и т.д. Среди сооружений, предназначенных для обеспечения бытовых потребностей, встречаются чаще здания и сооружения для бытового обслуживания – кухни, навесы для дров, лимонадные будки и т.д.

3. По объемно-планировочным параметрам. Анализ зданий и сооружений показал, что в садах Казани в указанный период: встречались чаще 1 этажные (85%) строения, 2 этажные строения встречались реже (15%); преобладали строения с симметричными фасадами (65%), строения с ассиметричными фасадами встречались реже (35%); по планировочным схемам преобладали сооружения с зальной (45%), центрической (20%) и коридорно-кольцевой планировочной структурой (18%), встречались реже – ячеекковая(5%), коридорная (6%), павильонная (1%) и коридорно-зальная(5%).

4. По закономерностям формообразования. Анализ по закономерностям формообразования зданий и сооружений показал, что большая часть строений в общественных городских садах Казани образованна простыми геометрическими фигурами (65% из 100%).

5. По эксплуатационным качествам. Анализ эксплуатационных качеств зданий и сооружений показал, что: преобладают многосезонные укрепленные здания и сооружения временного назначения (46%), в меньшей степени присутствуют сооружения сезонного назначения (37%) и не так часто встречаются долговечные капитальные строения (17%).

4. Обсуждение

Для Казанского Края характерен овражно-холмистый рельеф [27], что повлияло на архитектурно-пространственное размещение зданий и сооружений на территориях садов Казани в исследуемый период. Таким образом, на территории города в наиболее благополучных районах участки, которые были не пригодны для капитального строительства, отдавались под общественные потребности - на них располагались сады, скверы, бульвары и т.д. Особенности рельефа обусловили отсутствие определенной

пространственной структуры на территориях садов, здания и сооружения приходилось привязывать к рельефу, визуальным связям и наличию мест на территории, а не к выбранной планировочной структуре [21-26]. Также на архитектурно-пространственное размещение зданий и сооружений на территориях садов повлияла регулярная планировочная структура города, которая была разработана и приведена в исполнение архитектором В.И. Кафтыревым в 1768 г. [28], в связи с чем архитектурные объекты садов хорошо просматривались с прилегающих к ним территорий.

На конструктивные особенности зданий и сооружений в общественных городских садах также повлиял овражно-холмистый рельеф города, отсутствие ровного участка обусловило наличие временных, сезонных, легковозводимых каркасных конструкций строений.

Наличие природных ресурсов повлияло на выбор материалов, из которых были выполнены строения. Так на территории Казанского Края в исследуемый период располагались обширные леса [27], в связи с чем в садах преобладают строения из сруба и пиломатериалов.

На протяжении всего периода существования градостроительство и архитектура города Казани развивались в рамках нескольких государственных образований, последовательно сменявших друг друга: Волжско-Камская Булгария, Казанское Ханство, Казань в составе Российского Государства [28]. Каждый из данных периодов внес вклад в облик архитектуры зданий и сооружений Казанской Губернии, где художественное своеобразие и традиционная замысловатость народного творчества, уходящего корнями в периоды Волжско-Камской Булгарии и Казанского Ханства тесно переплелись с русской культурой. Что можно проследить на примере городской архитектуры Казанской Губернии XVIII – XIX вв., в том числе на примере зданий и сооружений расположенных на территориях садов. Таким образом помимо стилей классицизм, конструктивизм, эклектика, швейцарский стиль, модерн, русское деревянное зодчество, которые достаточно часто встречаются на территории Российской Империи в целом, в садах Казани, в исследуемый период, достаточно часто используются элементы татарского зодчества и мавританские мотивы.

Особую значимость исследованию придает систематизация объектов архитектуры по основным архитектурным признакам, так как она дает наиболее полную картину функционального назначения, внешнего облика, конструктивных и архитектурно-планировочных особенностей зданий и сооружений преобладавших на территориях городских садов Казани на период второй половины XIX – начала XX вв.

Данное исследование дополнило научные знания по архитектуре общественных зданий и сооружений на территории Казанского Края, где были выявлены архитектурно-пространственные и архитектурно-планировочные особенности зданий и сооружений в городских садах Казани на период второй половины XIX – начала XX вв. т.е. расположение объектов архитектуры в структуре сада, основные периоды развития зданий и сооружений на территориях садов, стилистические, конструктивные и планировочные особенности зданий и сооружений и т.д. Ранее исследования данного характера по городу Казани не проводились.

5. Заключение

1. В результате проведенного исследования были проанализированы здания и сооружения 15 общественных городских садов, располагавшихся на территории Казани на период второй половины XIX – начала XX вв.

2. Выполнен комплексный анализ архитектурно-пространственных и архитектурно-планировочных решений зданий и сооружений расположенных на территориях садов Казани на период второй половины XIX – начала XX вв. Где было выявлено что на внешний облик, стилистику, конструктивные и планировочные особенности архитектурных объектов оказали влияние: особенности рельефа, наличие лесов на территории Казанского Края, регулярная планировочная структура города, а также смена государственных образований происходившая на территории Казанского Края за весь период его существования;

3. Была выполнена систематизация, по основным архитектурным признакам. Которая позволила выявить преобладающие категории объектов, функциональное назначение, объемно планировочные параметры, закономерности формы образования и эксплуатационные качества зданий и сооружений, расположенных на территориях садов Казани на период второй половины XIX – начала XX вв.

В дальнейшем авторами предполагается рассмотреть связь между архитектурой зданий и сооружений садов городов Поволжских регионов Российской Империи и Казанского Края на период второй половины XIX – начала XX вв., т.е. сравнить их сходства и различия, а также влияние столиц Российской Империи на становление архитектуры зданий и сооружений в садах Казани на изучаемый период.

Проделанное исследование может быть использовано в процессе реконструкции и проектировании новых объектов озеленения в городе Казани с целью сохранения исторического облика города, также быть использован в курсе лекций, посвященных истории архитектуры в строительных и архитектурных учебных заведениях РТ и Поволжья. В перспективе, исследование данной темы, могли бы помочь при составлении паспортизации утраченных и сохранившихся объектов архитектуры в исторических садах Казани.

Список литературы/ References

1. Annet Kempenaar, Adri van den Brink. Regional designing: A strategic design approach in landscape architecture / Design Studies. Volume 54. 2018. P 80-95. DOI: 10.1016/j.culher.2017.10.006.
2. Myeong-JunLee. Transforming post-industrial landscapes into urban parks: Design strategies and theory in Seoul, 1998–present / Habitat International. Volume 91. 2019. DOI: 10.1016/j.habitatint.2019.102023.
3. Angeliki Paraskevopoulou, Andreas Klados, Chrysovalantis Malesios. Historical Public Parks: Investigating Contemporary Visitor Needs / Sustainability journal. Volume 12. 2020. DOI:10.3390/su12239976.
4. Кириченко Е.И. Градостроительство России середины XIX - начала XX века: Общ. характеристика и теорет. Проблемы. Столицы и провинция. Издательство: Прогресс - Традиция, 2001. 340 с. (Kirichenko E.I. Urban planning in Russia in the mid-19th - early 20th century: Society. characteristic and theory. Problems. capitals and provinces. Publisher: Progress-Tradition, 2001. 340 p.).
5. Hilary A. Taylor. Urban Public Parks, 1840-1900: Design and Meaning. Garden History. Volume 23. No. 2. 1995. P 201-221. DOI: 10.2307/1587078.
6. Semenova L. Bunakov O. Puryzhova L. Urban parks and their impact on the sustainable development of the tourist area: international experience and prospects of its application in the Kaliningrad region and the Republic of Tatarstan (RF). Sustainable Development: Industrial Future of Territories. EDP Sciences. Volume 208. 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202020805009.
7. Министерства Республики Татарстан // Minstroy.tatarstan.ru: официальный сайт. 2022. URL: <https://minstroy.tatarstan.ru/natsionalnie-proekti.htm> (дата обращения: 03.02.22). (Ministries of the Republic of Tatarstan // Minstroy.tatarstan.ru: official site. 2022. URL: <https://minstroy.tatarstan.ru/natsionalnie-proekti.htm> (reference date: 03.02.22)).
8. Ожегов С.С. Типовое и повторное строительство в России в XVIII—XIX веках. Издательство: Стройиздат, 1984. 168 с. (Ozhegov S. S. Typical and repeated construction in Russia in the XVIII—XIX centuries. Publisher: Stroyizdat, 1984. 168 p.).
9. Бурова Т. Ю., Шарафисламова Г. Принципы организации многоуровневой набережной Казанская Швейцария в городе Казань // Изд. : А-Принт. Екатеринбург. №: 1\21. 2021. 12-17 с. (Burova T. Yu., Sharafislamova G. Principles of organization of the multi-level embankment Kazanskaya Switzerland in the city of Kazan // Izd. : A-Print, Yekaterinburg. No.: 1\21. 2021. 12-17 p.).
10. Гришина М. П. Прошлое, настоящее и будущее садов и парков г Казани // Архитектура. Науки о Земле. Экология: сб. тр. аспирантов, магистрантов и соискателей. Н. Новгород: ННГАСУ. 2013. С. 39-43 (Grishina M.P. Past, present and future of gardens and parks in Kazan // Architecture. Earth Sciences. Ecology: Sat. tr.

- graduate students, undergraduates and applicants. Nizhny Novgorod: NNGASU. 2013. P. 39-43).
11. Жаржевский Л. М. О Казанской старине и не только: сборник статей. Казань: Титул, 2019. 560 с. (Zharzhevsky L. M. About Kazan antiquity and not only: collection of articles. Kazan: Title, 2019. 560 p.).
 12. Айдарова-Волкова Г. Н. Татарские слободы Казани: архитектурно-градостроительное развитие и методологические аспекты реконструкции: учебное пособие. Казань: КГАСА, 1999. 96 с. (Aidarova-Volkova G. N. Tatar settlements of Kazan: architectural and urban development and methodological aspects of reconstruction: textbook. Kazan: KGASA, 1999. 96 p.).
 13. Лисевич М. М. История Казани глазами эрудитов. 2. изд., перераб. и доп. Казань: Титул, 2000. 95 с. (Lisevich M. M. The history of Kazan through the eyes of scholars. 2. ed., reprint. and add. Kazan: Title, 2000. 95 p.).
 14. Дульский П. М. Классицизм в казанском зодчестве. Казань: Гос. Изд-во, 1920. 20 с. (Dulsky P. M. Classicism in Kazan architecture. Kazan: State. Publishing house, 1920. 20 p.).
 15. Загошкин Н. П. Очерки города Казани и казанской жизни в 40-х годах. Казань: Изд-во Каз. гос. ун-та, 2003. 164 с. (Zagoskin N. P. Sketches of the city of Kazan and Kazan life in the 40s. Kazan: Publishing House of Kaz. state University, 2003. 164 p.).
 16. Пинегин М. Н. Казань в ее прошлом и настоящем: очерки по истории, достопримечательностям и современному положению города, с приложением кратких адресных сведений. СПб. : Издание А. А. Дубровина, 1890. 604 с. (Pinegin M. N. Kazan in its past and present: essays on the history, sights and current situation of the city, with the application of brief address information. St. Petersburg : Edition of A. A. Dubrovin, 1890. 604 p.).
 17. Турнерелли, Э. Собрание видов города Казани, рисованные с натуры (литографии). СПб, 1839. 15 с. (Turnerelli, E. Collection of views of the city of Kazan, drawn from nature (lithographs). St. Petersburg, 1839. 15 p.)
 18. Катанов, Н. Ф. Сказания иностранцев о Казани. Казань: Типо-лит. Имп. Казанск. ун-та, 1911. 17 с. (Katanov, N. F. Tales of foreigners about Kazan. Kazan: Tipo-lit. Imp. Kazan. un-ta, 1911. 17 p.).
 19. Синянский И.А., Манешина Н.И. Типология зданий. М.: Академия, 2014. 288 с. (Sinyansky I.A., Maneshina N.I. Building typology. M.: Academy, 2014. 288 p.).
 20. Карта Казани 1877 года и часть реки Волги // Etomesto.ru: интернет-изд. 2022. URL: http://www.etomesto.ru/map-kazan_1877 (дата обращения: 28.03.22). (Map of Kazan in 1877 and part of the Volga River // Etomesto.ru: Internet ed. 2022. URL: http://www.etomesto.ru/map-kazan_1877 (date of access: 03/28/22)).
 21. По ходатайству Казанского Купца Оскара Петцольд о разрешении на постройку зданий в саду Аркадия. Чертежи зданий и сооружений, генплан, 1906 г. // НАРТ, Ф. 2. Оп. 7. Д. 3045. (At the request of the Kazan Merchant Oscar Petzold for permission to build buildings in the Arkady Garden. Drawings of buildings and events, general plan, 1906 // NART, F. 2. Op. 7. D. 3045).
 22. Проект постройки цирка Братьев Никитиных в городском саду Банное озеро. Чертежи, генплан, 1890 г. // НАРТ, Ф. 2. Оп. 15. Д. 738. (Project for the construction of the Nikitin Brothers circus in the city garden Bannoye Ozero. Drawings, general plan, 1890 // NART, F. 2. Op. 15. D. 738).
 23. Чертеж расположения ресторана Мельникову А.И. в саду Эрмитаж. Чертежи, генплан, 1900 г. // НАРТ, Ф. 2. Оп. 15. Д. 779. (Drawing of the location of the restaurant Melnikov A.I. in the Hermitage Garden. Drawings, master plan, 1900 // NART, F. 2. Op. 15. D. 779).
 24. Выкопировка с плана места для устройства сквера на Николаевской Площади. Генплан. 1891 г. // НАРТ, Ф. 2. Оп. 15. Д. 1295. (Copy from the site plan for the construction of a public garden on Nikolaevskaya Square. General plan. 1891 // NART, F. 2. Op. 15. D. 1295).
 25. Об устройстве в Панаевском саду электрического освещения. Чертежи зданий и сооружений, генплан. 1895 г. // НАРТ, Ф. 2. Д. 7. Оп. 1214. (About the device in the

- Panaevsky garden of electric lighting. Drawings of buildings and structures, master plan. 1895 // NART, F. 2. D. 7. Op. 1214).
26. Об отдаче в арендное содержание с 1884 г. Черноозерских зданий. Чертежи зданий и сооружений, генплан. 1884 г. // НАРТ, Ф. 98. Оп. 6. Д. 216. (On the return to the rental maintenance since 1884. Chernoozersky buildings. Drawings of buildings and structures, master plan. 1884 // NART, F. 98. Op. 6. D. 216).
27. Географическое положение и климат // Tatarstan.ru: официальный сайт. 2022. URL: <https://tatarstan.ru/about/geography.htm> (дата обращения: 23.03.22). (Geographical position and climate // Tatarstan.ru: official site. 2022. URL: <https://tatarstan.ru/about/geography.htm> (date of access: 03/23/22)).
28. Первый генеральный план – от Василия Кафтырева. Казанские истории // History-kazan.ru: интернет-изд. 2022. URL: <https://history-kazan.ru/kazan-vchera-segodnya-zavtra/istoriya-v-litsakh/zhzl-kazanskaya-seriya/3307-597> (дата обращения: 23.03.22). (The first master plan - from Vasily Kaftyrev. Kazan stories // History-kazan.ru: Internet ed. 2022. URL: <https://history-kazan.ru/kazan-vchera-segodnya-zavtra/istoriya-v-litsakh/zhzl-kazanskaya-seriya/3307-597> (date of access: 03/23/22)).
29. Надырова Х.Г. Градостроительная культура татарского народа и его предков: монография. – Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. 294 с. (Nadyrova Kh.G. Urban planning culture of the Tatar people and their ancestors: monograph. - Kazan: Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, 2012. 294 p.).

Информация об авторах

Марат Шигабатдинович Фазлеев, кандидат архитектуры, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: fastin@mail.ru

Альфия Рашитовна Минибаева, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: minibaeva-alfiya@mail.ru

Information about the authors

Marat Sh. Fazleev, candidate of architecture, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: fastin@mail.ru

Alfiya R. Minibaeva, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: minibaeva-alfiya@mail.ru

УДК: 69.059.35

DOI: 10.52409/20731523_2022_2_104

EDN: ERWQYE



Совершенствование туристической архитектурной среды города Чистополя Республики Татарстан на примере Толкишской мельницы с использованием метода цифрового туризма

М.Ш. Фазлеев, Р.Н. Дияров

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: Проблема совершенствования туристической архитектурной среды города Чистополя состоит в том, что эти важные для города объекты постепенно ветшают и разрушаются. Чтобы обеспечить их сохранность, необходимо сделать их более привлекательными, обратить на них внимание туристов и жителей города, интересующихся историей. Цель исследования – совершенствование туристической архитектурной среды города Чистополя Республики Татарстан на примере Толкишской мельницы с использованием метода цифрового туризма. Задачами исследования являются: подбор рекомендаций по совершенствованию туристической архитектурной среды Толкишской мельницы как части архитектурной туристической среды города Чистополя Республики Татарстан на основе отечественного и зарубежного опыта в сфере цифрового туризма; графическая визуализация применения подобранных рекомендаций на примере Толкишской мельницы. На данный момент в Чистополе сохранилось большое количество объектов архитектурно-исторического потенциала, их значимость для развития туристической архитектурной среды за последние годы значительно возросла. *Результаты.* Результатами исследования являются рекомендации по совершенствованию туристической архитектурной среды города Чистополя Республики Татарстан на примере Толкишской мельницы с использованием технологий цифрового туризма, а также графическая визуализация применения подобранных рекомендаций. *Выводы.* Предложенная рекомендация может быть использована для совершенствования туристической архитектурной среды города Чистополя Республики Татарстан на примере Толкишской мельницы. Данный метод не требует больших финансовых вложений, популяризирует культурное наследие, оказывает положительное эмоциональное воздействие на туриста. Значимость полученных результатов исследования состоит в том, что метод цифрового туризма может быть применен к другим историческим городам и поселениям, обладающим архитектурно-историческим потенциалом. Совершенствование туристической архитектурной среды поможет развитию исторических городов и поселений и поспособствует сохранению объектов культурного наследия.

Ключевые слова: совершенствование, туристическая архитектурная среда, архитектурно-исторический потенциал, исторические города и поселения, цифровой туризм, цифровые технологии, объекты культурного наследия, виртуальная реальность, дополненная реальность.

Для цитирования: М. Ш. Фазлеев, Р. Н. Дияров. Совершенствование туристической архитектурной среды города Чистополя Республики Татарстан на примере Толкишской мельницы с использованием метода цифрового туризма // Известия КГАСУ. 2022. № 2 (60).с.104-115, DOI: 10.52409/20731523_2022_2_104, EDN: ERWQYE

Improvement the tourist architectural environment of the city of Chistopol in the Republic of Tatarstan on the example of the Tolkish mill using the digital tourism method

Marat Sh. Fazleev, Rashid N. Diiarov

Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract: The problem of improving the tourist architectural environment of the town of Chistopol is that these important sites are gradually dilapidated and destroyed. To ensure their preservation, it is necessary to make them more attractive, draw the attention of tourists and town residents to them. The purpose of the study is to improve the tourist architectural environment of the town of Chistopol of the Republic of Tatarstan on the example of the Tolkish mill using the digital tourism method. The objectives of the research are: to provide architectural solutions to improve the tourist architectural environment of the Tolkish mill as part of the tourist environment of the town of Chistopol of the Republic of Tatarstan based on Russian and foreign experience in the field of tourism; to develop graphical visualization of the application of ideas about the use of the Tolkish mill. At the moment, a large number of sites of architectural and historical potential have been preserved in Chistopol, their importance for the development of the tourist architectural environment has increased significantly in recent years.

Results. The results of the study are recommendations for improving the tourist architectural environment of the town of Chistopol of the Republic of Tatarstan on the example of the Tolkish mill using digital tourism technologies, as well as a graphical visualization of the application of the selected recommendations.

Conclusions. The proposed recommendation can be used to improve the tourist architectural environment of the town of Chistopol in the Republic of Tatarstan on the example of the Tolkish mill. This method does not require large financial investments, popularizes cultural heritage, and has a positive emotional impact on the tourist. The significance of the results of the study lies in the fact that the method of digital tourism can be applied to other historical cities and settlements with architectural and historical potential. Improving the tourist architectural environment will help the development of historical cities and settlements and contribute to the preservation of cultural heritage sites.

Keywords: improvement, tourist architectural environment, architectural and historical potential, historical towns, cities and settlements, digital tourism, digital technologies, cultural heritage, virtual reality, augmented reality.

For citation: Marat Sh. Fazleev, Rashid N. Diiarov. Improvement the tourist architectural environment of the city of Chistopol in the Republic of Tatarstan on the example of the Tolkish mill using the digital tourism method.// News KSUAE. 2022. No 2 (60), c. 104-115, DOI:10.52409/20731523_2022_2_104, EDN: ERWQYE

1. Введение

Первые упоминания о селе Чистое Поле появляются в летописях в конце XVII — начале XVIII века. Территория, на которой расположен город, с древности была заселена. Выгодное географическое положение, близость реки Камы, различные социально-культурные аспекты всегда выделяли Чистополь по сравнению с другими городами Казанской губернии.

В 19 веке Чистополь стал важным экономическим центром. В городе насчитывалось более полусотни действующих мельниц, как ветровых, так и водяных. Купцы скупали хлеб и продавали его в разные страны. Объемы хлебопереработки были значительными по сравнению с другими регионами Поволжья [1].

Исторически торговля зерном и мукой в Чистополе велась на Хлебной площади, которая располагалась на территории ныне существующего Скарятинского сада по улице Карла Маркса. К сожалению, на данный момент, эта часть истории города представлена лишь в виде трех памятных знаков - мельниц на ул. 40 лет Победы [2]. Между тем, в городе сохранились исторические здания мельниц и мукомольных фабрик, принадлежавших известным чистопольским купцам Чельшевым и Назаровой, на которых никак не акцентировано внимание туристов и местных жителей. В окрестностях города сохранилась уникальная каменная ветряная Толкишская мельница. Такие ключевые моменты истории города заслуживают того, чтобы стать широко известными, а мельницы Чистополя могут стать своеобразным туристическим символом города, олицетворением его хлеботоргового прошлого [3].

Важнейшей составляющей отдыха человека является туризм. Туризм – деятельность человека связанная с передвижением за пределы постоянного места жительства, направленная на восстановление физических и психических сил, развитие личности и не связанная с выполнением трудовых обязанностей [4]. Путешествие является одной из древнейших человеческих деятельности, не теряющих актуальность в ходе времени. За последние годы в России повысился интерес к внутреннему туризму. По данным компании в отрасли информационных технологий «Яндекс» за последние пять лет количество поисковых запросов о туризме в России выросло втрое. Особое влияние на ситуацию оказала пандемия COVID 19, вызвавшая закрытие большинства международных границ. Этот фактор послужил толчком для развития российской туристической индустрии, совершенствования туристической архитектурной среды исторических городов и поселений, реализации их архитектурно-исторического потенциала.

На сегодняшний день город Чистополь в соответствии с оценкой туристско-рекреационного потенциала, проведенного в схеме территориального планирования Республики Татарстан, обладает высоким архитектурно-историческим потенциалом и достаточно развитой инфраструктурной составляющей, включающей в себя удобные для путешествий транспортные сети, отели и гостиницы [5]. Объекты культурного наследия являются главными составляющими туристической индустрии по всему миру. За последние годы значимость объектов архитектурно-исторического потенциала в роли развития туристической архитектурной среды усилилась [6]. Архитектурно-исторический потенциал является важной составляющей познавательного туризма. Он представлен различными видами памятников археологии, памятников культовой, гражданской и торгово-промышленной архитектуры, мемориальными и историческими местами и музеями. Памятники ландшафтной архитектуры также являются неотъемлемой частью этого комплекса. Они представлены парками, садами, рукотворными ландшафтными пейзажами на исторических территориях. Объекты архитектурно-исторического потенциала несут в себе образ жизни и историю наших предков.

Под термином «совершенствование» в данной статье подразумевается процесс закономерного, качественного изменения какого-либо объекта, направленный на улучшение его состояния и на придание ему новых свойств, необходимых для более полного соответствия целям его функционирования и окружающим условиям.

Сохранение, приспособление и поддержание объектов культурного наследия применительно к совершенствованию туристической архитектурной среды является

сложной задачей, требующей современного подхода. Для реализации совершенствования существующей туристической архитектурной среды города Чистополя необходимо использовать опыт исторических городов, сумевших реализовать свой архитектурно-исторический потенциал.

В исследовании Рубцова В.А. [5] рассмотрены вопросы оценки природно-ресурсного и туристско-рекреационного потенциалов некоторых малых исторических городов Республики Татарстан, их роль в развитии туризма, а также даны характеристики современного состояния туристической инфраструктуры. Показаны основные перспективные направления.

Большую роль в развитии экономики крупных государств играют технологические инновации. Одним из новых и перспективных направлений считается цифровой туризм - как способ сбора, обработки, хранения и использования цифровой информации для любых нужд туриста, с использованием различных электронных устройств-гаджетов. Он служит поддержкой туриста до, во время и после путешествия [7]. Цифровой туризм располагает большим количеством инструментов для подготовки, контроля, популяризации и получения удовольствия от путешествия [8]. Таким образом, цифровой туризм использует современные технологии, чтобы изменить не только то, как мы путешествуем, но и принципы работы туристической индустрии. Также установлено, что данный подход положительно сказывается на популяризации туризма в исторических городах.

Важность разработки и внедрения цифровых технологий в сферу туризма была обозначена в программе развития цифровой экономики Российской Федерации. Главные задачи современного туризма были сформулированы в распоряжении правительства РФ «Об утверждении Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года». Важно достигнуть высокого уровня развития цифровой инфраструктуры и сервисов, развития цифровых платформ для продвижения туристических продуктов, брендов. Главной задачей является формирование полноценного туристического продукта [9].

Согласно статистике поисковой системы Google, в период планирования путешествия пользователи совершают около 400 поисковых запросов. Это большое количество информации нуждалось в систематизации, необходимо было сделать ее использование удобнее для пользователя. Первые сервисы для цифрового туризма начали появляться еще в начале 2000-х годов. Первоначальными целями этих сервисов являлось онлайн бронирование жилья и покупка билетов с использованием компьютера либо мобильного телефона. На основе данных, собранных с устройств пользователей, туристические фирмы формировали определенные туристические маршруты, давали рекомендации по путешествию. На сегодняшний день хорошим примером туристического сервиса является приложение TripAdvisor – одна из самых популярных в мире платформ для обзора ресторанов и отелей. Сервис стал постоянным цифровым ориентиром для путешественников. Прежде чем посетить новый город, туристы ищут информацию в TripAdvisor и читают отзывы других путешественников. Другими словами, та информация, что когда-то передавалась из уст в уста, была заменена цифровым сервисом и во многих отношениях стала работать гораздо более эффективно для пользователя. Как показали исследования Оксфордского университета, подобные сервисы во многом способны повлиять на большинство действий, совершаемых туристами во время путешествия. Также, за последние годы, используя сервисы цифрового туризма, путешественники стали тратить во время поездок на 15 процентов больше финансов, что поспособствовало приросту в данную индустрию, равному 80 миллиардам долларов [10].

Крупные Российские цифровые компании такие как «Яндекс», Mail.ru Group, Сбербанк, ВТБ, «МегаФон», «Ростелеком», МТС, «ВымпелКом», QIWI, «Магнит» основали «Ассоциацию больших данных» и начали разработку проекта цифрового паспорта туриста в России. Суть проекта заключается в создании сервиса для анализа активности туристов в регионах. С помощью обезличенных данных от телеком-компаний, банков, операторов фискальных данных, перевозчиков, туроператоров, социальных сетей и сайтов с отзывами, ассоциация планирует определять потребности

туристов в регионах нашей страны и выявлять нереализованный спрос. С помощью анализа данных туристов использовавших сервис будут выявлены «слабые» места туристической инфраструктуры.

В цифровой профиль туриста войдет информация о его стране, регионе, поле, возрасте и других социальных характеристиках, а также анализ расходов во время поездки, перечень посещаемых достопримечательностей, кафе, отелей и других объектов инфраструктуры. Директор ассоциации больших данных Алексей Нейман уточнил, что сервис не будет собирать данные о конкретных людях, а будет обезличивать их, составляя информацию о туристических потоках. Со временем система цифрового паспорта туриста научится выявлять точки притяжения для туристов с общими интересами, чтобы создать на их основе соответствующую инфраструктуру [11].

На сегодняшний день невозможно представить свою жизнь без смартфона. Человеком используется большое количество цифровой носимой электроники, такой как умные часы, браслеты и наушники. В скором времени в массовом сегменте начнут использоваться очки дополненной реальности, Google Glass и их аналоги, способные дополнять восприятие человека цифровой информацией [12]. В выпуске подобных устройств заинтересованы крупнейшие цифровые компании, такие как Apple, Samsung, Xiaomi и др. Также нашли широкое распространение технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия NFC (Near field communication), позволяющие человеку осуществлять обмен данными между цифровыми устройствами, безналично оплачивать товары, пользоваться общественным транспортом. Также сегодня у туриста уже нет необходимости носить с собой напечатанные билеты на самолет, они могут храниться в цифровом виде на смартфоне в специальном приложении. Эта технологическая революция оказала серьезное влияние на туристическую индустрию во всем мире [13]. Развитие онлайн сервисов позволит создать единую цифровую сеть, в которой турист может найти способ удовлетворения любых своих потребностей во время путешествия. Искусственный интеллект уже сегодня способен обрабатывать огромные потоки туристической информации: автоматизация авиационных услуг, управление отелями и букингом, управление туристическим трафиком, управление сайтами и чат-ботами туристических компаний [14]. В мире работают десятки технологических стартапов в сфере туризма, которые стремятся привнести в отрасль свои новые оригинальные идеи.

С приходом современных цифровых технологий появились новые виды цифрового туризма, которые могут положительно сказаться на популяризации объектов архитектурно-исторического потенциала города Чистополя. Виртуальная и дополненная реальность в туризме – одни из новейших и наиболее перспективных инструментов для демонстрации туристических мест, курортов, отелей, памятников и многих других туристических продуктов. Сегодня такие технологии все больше находят применение в музейных объектах, создавая эффект полного погружения [15]. Высокое качество изображения, широкие возможности демонстрации туристических объектов, экспозиций и достопримечательностей – все это делает цифровой туризм мощным маркетинговым инструментом.

Виртуальная реальность является хорошим рекламным инструментом туризма. Турист может реально оценить, что его ждет в конкретной стране, на конкретном объекте и в конкретное время года. Это одновременно уникальный аттракцион, реклама и способ донести информацию гораздо лучше, чем это делает любой путеводитель или видеоролик. Виртуальную и дополненную реальность уже сегодня называют одними из технологий, которые изменят будущее. Сценариев использования этих технологий десятки. А в будущем их станет еще больше, ведь VR и AR становятся с каждым годом доступнее, удобнее и практичнее. Обзорные фотографии 360 градусов, масштабные трехмерные туры, качественно новый уровень рекламы – все это может быть использовано уже сегодня.

Адаптация туристической архитектурной среды к цифровому туризму будет происходить постепенно. Цифровой туризм будет становиться доступнее, туристы смогут удобнее взаимодействовать с элементами инфраструктуры: умные устройства будут предлагать интересные места, строить маршруты, показывать на месте все этапы формирования исторических территорий, с самой древности до наших дней. С помощью

дополненной реальности решится проблема языкового барьера, умные очки смогут переводить любые надписи в режиме реального времени и транслировать их поверх оригинальных. Идеи использования цифровых технологий для совершенствования туристической архитектурной среды будут ограничены только воображением.

В работе Хуррамова О.К., Файзиевой С.А. [16] рассматривается опыт использования метода цифрового туризма для развития туристической инфраструктуры Узбекистана.

Основываясь на отечественном и зарубежном опыте в области цифрового туризма можно выделить следующие рекомендации по совершенствованию туристической среды: сбор отзывов о путешествии в мобильном приложении, чтобы турист заранее мог планировать свое путешествие; использование цифрового профиля, который сможет подобрать путешествие для туриста, основываясь на его предпочтениях; добавление в среду объектов дополненной реальности для популяризации объектов города.

Целью исследования является совершенствование туристической архитектурной среды города Чистополя Республики Татарстан на примере Толкишской мельницы с использованием метода цифрового туризма. Задачами исследования являются: подбор рекомендаций по совершенствованию туристической архитектурной среды Толкишской мельницы как части архитектурной туристической среды города Чистополя Республики Татарстан на основе отечественного и зарубежного опыта в сфере цифрового туризма; графическая визуализация применения подобранных рекомендаций на примере Толкишской мельницы.

2. Материалы и методы

Если рассматривать отечественный опыт в сфере цифрового туризма, а конкретнее метод цифрового профиля туриста, то применение этого метода существенно не повлияет на популяризацию объектов архитектурно-исторического потенциала города Чистополя, так как объекты города малоизвестны и не исследованы. Необходимо сначала привлечь к ним внимание со стороны туристов, то есть сделать их центрами притяжения. Рекомендации через сервисы отзывов о путешествиях не смогут популяризовать объекты Чистополя, так как поток туристов небольшой, и отзывов оставляется крайне мало.

Новой и перспективной тенденцией цифрового туризма для совершенствования туристической архитектурной среды города Чистополя на примере Толкишской мельницы является метод виртуальной и дополненной реальности. Виртуальная реальность (virtual reality или VR) это созданное техническими средствами пространство, передаваемое человеку через его ощущения (зрение слух, осязание), путем использования приспособлений – шлемов, очков, перчаток виртуальной реальности. Виртуальную реальность не следует путать с дополненной реальностью. Дополненная реальность (augmented reality или AR) это результат введения в реальный мир цифровых данных с целью дополнения информации об окружающей среде. Эта реальность воспринимается как смешанная, создаваемая с помощью технических средств с использованием очков дополненной реальности, смартфонов и других гаджетов.

Если рассматривать дополненную реальность в цифровом туризме с точки зрения сохранения объектов культурного наследия, то этот инструмент способен воссоздать утраченные картины прошлого. Появится возможность увидеть одно и то же место в разные года, века, времена года. Исторические реконструкции в дополненной реальности позволят узнать историю места, а также получить положительные впечатления и новые знания. Даже если объект был полностью утрачен, дополненная реальность способна вернуть ему былой облик и показать на историческом месте.

Проработанное 3D изображение будет накладываться на существующую картину реальности и дополнять ее. Благодаря графической реконструкции в дополненной реальности, у туриста появится возможность увидеть то, какой была мельница в годы функционирования. С помощью любого смартфона или очков дополненной реальности можно будет увидеть воссозданный исторический объект в его историческом окружении с утраченными хозяйственными постройками. С дополненной реальностью можно будет взаимодействовать, установить желаемый этап истории памятника, время года, посмотреть значимые для места исторические события. Также возможно будет наблюдать вращение мельничного механизма, загрузку зерна, выгрузку муки на телеги.

Для совершенствования туристической среды Толкишской мельницы как части архитектурно-исторического потенциала города Чистополя рекомендуется использование метода дополненной реальности. При использовании данного метода не требуется много денежных средств на создание туристической привлекательности объекта, необходимо лишь создание точной 3D модели. Подобный подход положительно скажется на популяризации архитектурного наследия, будет производить положительное впечатление на туриста, делая путешествие эмоциональным и запоминающимся.

3. Результаты

Для совершенствования архитектурной туристической среды города Чистополя рекомендуется использовать метод дополненной реальности на примере Толкишской мельницы, одного из ярких памятников архитектурно-исторического потенциала города Чистополя. Используя выбранный метод турист сможет наблюдать следующие изображения мельницы в дополненной реальности (Рис.3-Рис.4) (Fig.3-Fig.4).

Рассмотрим метод дополненной реальности на примере Толкишской мельницы. Попадая на место расположения Толкишской мельницы, турист наблюдает ее существующее состояние (Рис.1) (Fig.1). Надев очки дополненной реальности, либо просто поднеся смартфон, турист наводит камеру на объект. В результате происходит наложение детализированного 3D изображения на объект (Рис.2) (Fig.2). Турист наблюдает картину прошлого, видит анимацию движения мельничного механизма, наблюдает утраченный исторический ландшафт, различные утраченные хозяйственные постройки. Анимированная 3D модель мельника прогуливается вокруг мельницы, смотрит на туриста, разговаривает через динамики устройства (Рис.3) (Fig.3). Если турист желает увидеть мельницу в зимнее время года, он способен одним нажатием переключить сцену и перенестись в желаемое время года, наблюдая при этом реалистичную анимацию метели (Рис.4) (Fig.4).

Таким образом, метод дополненной реальности повысит привлекательность архитектурных объектов, сделает их интересными для туристов и жителей города, поможет развитию исторических городов и поселений, поспособствует сохранению объектов культурного наследия.



Рис.1 Толкишская мельница, современное состояние (иллюстрация авторов)
Fig.1 Tolkish mill, current state (illustration by the authors)



Рис.2 Принцип работы технологий дополненной реальности (иллюстрация авторов)
Fig.2 The principle of operation of augmented reality technologies (illustration by the authors)



Рис.3 Толкишская мельница, виртуальная реконструкция в дополненной реальности, летний вариант (иллюстрация авторов)
Fig.3 Tolkish mill, virtual reconstruction in augmented reality, summer version (illustration by the authors)



Рис.4 Толкишская мельница, виртуальная реконструкция в дополненной реальности,
зимний вариант (иллюстрация авторов)

Fig.4 Tolkish Mill, virtual reconstruction in augmented reality, winter version (illustration by the
authors)

4. Обсуждение

Вопрос важности использования объектов культурного наследия для формирования туристической архитектурной среды был рассмотрен в работе Хуррамова О.К., Файзиевой С.А. Объекты культурного наследия являются отражением нашей культуры, истории и традиций. Такой туризм несет в себе информационные и образовательные цели, помогает путешественникам приобщаться к культуре исторических мест. Особое влияние туризм по объектам культурного наследия оказывает на определенные социальные группы, такие как дети школьного возраста, способствует формированию у них правильных понятий о значимости этих ценных объектов в истории городов и поселений [6]. Поэтому использование архитектурно-исторического потенциала города Чистополя так важно для формирования его будущей туристической архитектурной среды.

Важным является вопрос значимости культурного ландшафта, как части туристической архитектурной среды в развитии туризма. Панкеева Т.В. в своем исследовании о роли ландшафта в развитии туризма [17], видит его основной составляющей. Также вопрос развития туристического потенциала за счет историко-культурных ландшафтных памятников поднимается в работе Мухитова Р.К. Расширение туристического потенциала существующих историко-культурных ландшафтных памятников архитектуры на примере музеев Болгар и Свияжска [18]. Ландшафт и окружение способны оказывать сильное эмоциональное воздействие на туристов. Ландшафты исторических территорий имеют много возможностей, чтобы акцентировать внимание зрителя на важных исторических памятниках.

С помощью метода дополненной реальности удастся восстановить утраченные картины прошлого, облик памятника, и в том числе его ландшафт, трансформируя его архитектурную среду для наглядного восприятия зрителя.

Вопрос акцентирования внимания к памятнику за счет трансформации его среды также поднимался в статье Мухитова Р.К. и Фазлеева М.Ш. Туристическое освоение ландшафта музея-заповедника Болгарское городище в Республике Татарстан. Авторы

установили, что одним из важных направлений в возрождении Болгарского городища может стать идея преобразования культурного ландшафта за счет использования минимальных средств и приемов ландшафтного благоустройства и озеленения [19].

Несмотря на существенное различие в этих методах, они оба направлены на создание эмоционального воздействия на зрителя, путем изменения среды памятника.

Значимость полученных результатов состоит в том, что благодаря применению метода дополненной реальности удастся привлечь внимание к важным для города Чистополя историческим объектам и территориям. Данный метод может быть применен к любым значимым объектам архитектурно-исторического потенциала города. Прогнозируется, что подобный подход поможет заинтересовать туристов в истории архитектурного наследия, популяризовать туризм по историческим территориям.

Для будущих исследований предлагается применение методов цифрового туризма для совершенствования туристической архитектурной среды других значимых объектов города Чистополя. В особенности важно уделить внимание руинированным и утраченным объектам архитектурно-исторического потенциала.

5. Заключение

1. Предложены рекомендации по использованию метода дополненной реальности для совершенствования туристической архитектурной среды города Чистополя Республики Татарстан на примере Толкишской мельницы. Метод заключается в наложении детализированного 3D изображения на объект, что позволяет зрителю, через очки дополненной реальности либо смартфон, увидеть исторический облик мельницы в виде красивого анимированного изображения, наблюдать исторический ландшафт и утраченные хозяйственные постройки.

2. Проведена графическая визуализация применения рекомендаций с получением 3D изображений Толкишской мельницы в дополненной реальности для разных времен года. Осмысленное использование приемов цифрового туризма способно создать вокруг памятника цифровую среду благоприятную и интересную для изучения туриста и привлечь внимание к объектам культурного наследия, вовлекая в историческое прошлое.

Список литературы / References

1. История района, Чистопольский муниципальный район // Официальный Татарстан. URL: <https://chistopol.tatarstan.ru/istoriya.htm> (дата обращения: 12.06.2020) [The history of district, Chistopol municipal district // Official Tatarstan. URL: <https://chistopol.tatarstan.ru/istoriya.htm> (reference date: 12.06.2020)].
2. Исмагилова, Р.А. Чистаюм Родной Чистополь: историко-публицистические очерки: «Идел-Пресс», 2009. 464 с. [Ismagilova, R.A. My native Chistopol: historical publicist essays: «Ideal-Press», 2009. 464 p.]
3. Дияров Р.Н. Здания и сооружения хлебоперерабатывающей промышленности г. Чистополя Республики Татарстан как часть архитектурно-исторического потенциала // «Вестник магистратуры». 2021. №2 (113) [Diiarov R.N. Buildings and structures of the grain processing industry in the city of Chistopol, the Republic of Tatarstan as part of the architectural and historical potential // «Magistracy Bulletin». 2021. №2 (113)]
4. Лобанов Ю.И. Отдых и архитектура. Будущее и настоящее. С. Стройиздат, 1982. 200 с. [Lobanov U.I. Rest and architecture. Nowadays and future. P. Stroisdat, 1982. 200 p.]
5. Рубцов, В.А. Туризм в малых исторических городах Республики Татарстан как фактор сбалансированного развития : Отечество, 2016. 180 с. [Rubcov, V.A. Tourism in historical towns of Republic of Tatarstan as the factor of balanced urban development : Otechestvo, 2016. 180 p.]
6. Ismagilova G., Safiullin L., Gafurov I., Using historical heritage as a factor in tourist development // Procedia - Social and Behavioral Sciences 188 (2015) 157 – 162
7. Benyon D., Quigley A., O’Keefe B., Riva G., Presence and digital tourism // AI & SOCIETY 29(4):521-529. DOI:10.1007/s00146-013-0493-8

8. Bülent A., Kittisak J., Ayse G., Current Trends in Asian Economics, Business, and Administration : Handbook of Research on, 2021. 497 p. DOI: 10.4018/978-1-7998-8486-6
9. Kononova O., Prokudin D., Tupikina E., From e-Tourism to Digital Tourism. Terminologically Review // Center digital society research. 2020. Vol. 2784.
10. What is digital tourism? Much more than a definition // Doxee. URL: <https://www.doxee.com/blog/customer-experience/what-is-digital-tourism/> (дата обращения: 22.11.2021).
11. В России создадут цифровой профиль туриста // РБК. URL: https://www.rbc.ru/technology_and_media/05/04/2021/6065c1079a79477f70e6d9c3 (дата обращения: 19.09.2021) [Russia will create a digital tourist profile // RBC. URL: https://www.rbc.ru/technology_and_media/05/04/2021/6065c1079a79477f70e6d9c3 (reference date: 19.09.2021)].
12. Arockia Panimalar. S., Tamilselvi. K., Vani. K., Pattabi. M., Roodiet. A.V., Nandhini. S., Muthumeenal .L., Google glass technology // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) 2017. Volume: 04 Issue: 08
13. Watkins M., Ziyadin S., Imatayeva A., Kurmangalieva A., Blembayeva A., Digital tourism as a key factor in the development of the economy // Economic Annals-XXI 169(1-2):40-45. DOI:10.21003/ea.V169-08
14. Kononova O., Prokudin D., Ryabysko J., The Vision and the Perspective of Digital Tourism // Center digital society research. 2020. Vol. 2784.
15. Guo K., Fan A., Lehto X., Leht X., Immersive Digital Tourism: The Role of Multisensory Cues in Digital Museum Experiences // Journal of Hospitality & Tourism Research July 14, 2021. DOI: 10.1177/10963480211030319
16. Khurramov O.K., Fayzieva S.A., Saidova F.K., Khalilov B.B., Fayzieva S.K., Directions for improvement digital tourism and tourism info structure in Uzbekistan // Journal of Critical Reviews, 2020. Vol. 7.
17. Панкеева Т.В. Ландшафтный потенциал как основа развития туризма // Ученые записки Таврического Национального Университета им. В.И. Вернадского. 2010. Т. 23(62). №3 [Pankeeva T. V. Landscape potential as a basis for tourism development // Scientific notes of Taurus National University of V.I. Vernandskiy. 2010. T. 23(62). №3].
18. Мухитов Р.К. Расширение туристического потенциала существующих историко-культурных ландшафтных памятников архитектуры на примере музеев Болгар и Свияжска // Сборник научных трудов международной конференции Союз архитекторов России, Москва, Россия, номер: 2, 2019 [Mukhitov R.K. Expansion of the tourist potential of existing historical and cultural landscape architectural monuments on the example of the museums of Bolgar and Sviyazhsk // Collection of scientific papers of the international conference Union of Architects of Russia, Moscow, Russia, number: 2, 2019].
19. Мухитов Р.К., Фазлеев М.Ш., Туристическое освоение ландшафта музея-заповедника Болгарское городище в Республике Татарстан // Ученые записки Таврического Национального Университета им. В.И. Вернадского. 2010. Т. 23(62). №3 [Muhitov R.K., Fazleev M.S., Tourist development of the landscape of the Bolgar settlement museum in the Republic of Tatarstan // Scientific notes of Taurus National University of V.I. Vernandskiy. 2010. T. 23(62). №3]

Информация об авторах

Марат Шигабатдинович Фазлеев, доцент, кандидат архитектуры, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

E-mail: fastin@mail.ru

Дияров Рашид Наилевич, инженер-проектировщик, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

E-mail: twigiriko@mail.com

Information about the authors.

Marat Sh. Fazleev, associate professor, candidate of architecture, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

E-mail: fastin@mail.ru

Rashid N. Diarov, engineer, project designer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

E-mail: twigiriko@mail.com

Журнал «Известия КГАСУ» выходит 4 раза в год, тиражом 500 экз. Журнал является подписным изданием и включен в электронный каталог АО «ПОЧТА РОССИИ», индекс издания – ПП890.

Авторы, являющиеся членами редколлегии и (или) подписчиками журнала, имеют преимущественное право на опубликование своих статей.

СТАТЬИ ПУБЛИКУЮТСЯ БЕСПЛАТНО.

Научная статья в полном объеме будет также размещена на официальном сайте «Известия КГАСУ» – электронном научном издании (ЭНИ) <http://izvestija.kgasu.ru/> (Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС 77-31046 от 25.01.2008).

Все материалы направлять по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1, Отдел ИАС НИР, комн. 79. Телефон (843) 510-46-39. Email: patent@kgasu.ru.

Известия КГАСУ
2022г, № 2 (60)

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

Макет и редактирование: Нуруллина Г.И..

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

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Регистрационный номер: ПИ № ФС77-77410 от 17.12.2019г.
Индекс издания – ПП890

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

Распространение: свободная цена

Подп. к печати 27.06.2022	Формат 60×84/8
Заказ 84	Бумага тип. №1
Усл. -печ. л. 14,6	Уч.-изд. л. 15,1
Тираж 500 экз.	
I завод – 100	

Дата выхода в свет: 30.06.2022г.

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