

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Вып. 3-4(92) **Серия: Строительство и архитектура** **2023**
Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta
Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura
(Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering
Series: Civil Engineering and Architecture)

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГТУ

С о д е р ж а н и е

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ.
ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

- Бартоломей Л. А., Богомолова О. А., Гейдт В. Д., Гейдт А. В.** Сопоставление величин расчетного сопротивления грунтового основания ленточного фундамента, полученных разными методами 5
- Голиков А. В., Терновой В. А., Якимив П. В.** Характер развития повреждений и распределения напряженно-деформированного состояния в несущих конструкциях эксплуатируемого покрытия с балочными фермами перекрестной системы 15
- Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Кузьменко Д. А., Татаркин А. В., Алванян К. А.** Основные закономерности изменения состава и свойств незасоленных и засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании 27
- Перехоженцев А. Г.** О потенциале влажности, нормировании и расчете тепловлажностных характеристик наружных ограждений зданий 39

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ,
АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

- Александров А. С., Александрова Н. П., Раскошный Д. Ю.** Прогнозирование глубины колена износа на асфальтобетонном покрытии в пределах участков торможения транспортных средств 49
- Алексиков С. В., Гофман Д. И., Самсонов И. В., Лескин А. И.** Повышение надежности металлических дорожных труб 62
- Артемова С. Г., Рожнов Е. Е., Старцева А. Н.** Велотранспортная структура города Волгограда 73
- Макаров А. В., Васильченко А. А.** Анализ работы резиновых опорных частей балочных мостов 86

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Акчурин Т. К., Бондарев Б. А., Бондарев А. Б., Борков П. В., Жидков В. К., Баязов В. А. Применение полимерных композиционных материалов в конструкциях опор сооружений транспортной инфраструктуры	94
Баканов М. О., Грушко И. С., Кузнецов И. А. Моделирование нелинейных процессов динамики теплопереноса на стадии изотермической выдержки пеностекла	103
Гончарова М. А., Акчурин Т. К., Заева А. Г., Монастырев П. В., Дергунова Е. С. Исследование физико-механических свойств цементных систем, модифицированных биодобавками	116
Фокин В. М., Ковылин А. В., Литвинов В. Ф. Неразрушающий контроль комплекса теплофизических свойств твердых материалов с использованием волнового числа	126

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Клочков Д. П., Вереникин Ю. Д., Радченко О. П. Прогнозирование технического состояния и стоимости ремонтно-восстановительных работ зданий и сооружений на основе существующих объектов капитального строительства	136
--	-----

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Ветрова Н. М., Борбот И. Н., Данилович И. В. Особенности формирования экологически безопасного водоснабжения на вододефицитных территориях	148
---	-----

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Гончарова М. А., Акчурин Т. К., Дергунова Е. С., Заева А. Г. Анализ факторов риска безопасной эксплуатации «чистых» помещений	157
--	-----

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Олейников П. П., Мельникова О. Г. Самый известный дом Царицына	164
---	-----

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА

Прокoppenko В. В. Анализ перспективы территориального планирования системы расселения и размещения экопоселений в структуре Волгоградской области	176
--	-----

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Дубов И. А., Антюфеева О. А. Археопарк как полифункциональный комплекс	186
Жукова Е. С., Молчанов В. М. Эволюция архитектуры речных вокзалов	197
Коростелева Н. В., Ганиев Э. Р., Насиров Р. К. Градостроительные перспективы освоения подземного пространства урбанизированных территорий	211
Птичникова Г. А., Антюфеева О. А. К проблеме реновации индустриального наследия: комплекс зданий Жигулевских пивных складов в Царицыне	221
Шолтышев В. Н. Предпосылки использования подземных пространств под общественную функцию в крупных и крупнейших городах юга России	233

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Игнатъев А. В., Юрасов Н. А., Куликов М. А. Использование ГИС-технологий при планировании размещения организаций дошкольного и общего образования	245
--	-----

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Черешнев И. В., Черешнева Н. В., Черешнев Л. И. Оценка жизненного цикла здания как основа для создания модели технологической энергосистемы жилища	252
---	-----

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Кольшев Ю. Б. Рисунок в архитектурном образовании: теоретико-понятийный аспект	263
От редколлегии	274

Content

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. BASEMENTS, FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES

- Bartolomey L. A., Bogomolova O. A., Geidt V. D., Geidt A. V.** Comparison of the values of the calculated resistance of the soil base of the ribbon foundation obtained by different methods 5
- Golikov A. V., Ternovoy V. A., Yakimiv P. V.** The nature of damage development and distribution of the stress-strain state in the load-bearing structures of the operated coating with beam trusses of the cross system 15
- Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kuzmenko D. A., Tatarkin A. V., Alvanyan K. A.** The main patterns of changes in the composition and properties of unsalted and saline clay rocks during diffusion leaching 27
- Perekhozhentsev A. G.** On the potential of humidity, rationing and calculation of heat and humidity characteristics of external fences of buildings 39

DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF HIGHWAYS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRAFFIC TUNNELS

- Aleksandrov A. S., Aleksandrova N. P., Raskoshnyi D. Yu.** Forecasting the depth of the rut on the asphalt concrete pavement within the braking areas of vehicles 49
- Aleksikov S. V., Gofman D. I., Samsonov I. V., Leskin A. I.** Improving the reliability of metal road pipes 62
- Artemova S. G., Rojnov E. E., Startseva A. N.** Bicycle transport structure of Volgograd 73
- Makarov A. V., Vasilchenko A. A.** Analysis of the operation of rubber bearing parts of beam bridges 86

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

- Akchurin T. K., Bondarev B. A., Bondarev A. B., Borkov P. V., Zhidkov V. K., Bayazov V. A.** The use of polymer composite materials in the construction of supports of transport infrastructure structures 94
- Bakanov M. O., Grushko I. S., Kuznetsov I. A.** Modeling of nonlinear processes of the dynamics of heat transfer at the stage of isothermal holding of foam glass 103
- Goncharova M. A., Akchurin T. K., Dergunova V. V., Zaeva A. G., Monastirev P. V., Dergunova E. S.** Investigation of physico-mechanical properties of cement systems modified with bioadditives 116
- Fokin V. M., Kovylin A. V., Litvinov V. F.** Non-destructive testing of the complex of thermophysical properties of solid materials using the wave number 126

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

- Klochkov D. P., Verenikin Yu. D., Radchenko O. P.** Forecasting the technical condition and cost of repair and restoration works of buildings and structures based on existing capital construction projects 136

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

- Vetrova N. M., Borbot I. N., Danilovich I. V.** Features of the formation of environmentally safe water supply in water-deficient territories 148

LIFE SAFETY AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

- Goncharova M. A., Akchurin T. K., Dergunova E. S., Zaeva A. G.** Analysis of risk factors for safe operation of clean rooms 157

THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE

- Oleinikov P. P., Melnikova O. G.** The most famous house of Tsaritsyn 164

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

- Prokopenko V. V.** Analysis of the prospects for territorial planning of the settlement system and the placement of eco-settlements in the structure of the Volgograd region 176

GENERAL ARCHITECTURE

- Dubov I. A., Antyufeeva O. A.** Archaeopark as a polyfunctional system 186
- Zhukova E. S., Molchanov V. M.** Evolution of river station architecture 197
- Korosteleva N. V., Ganiev E. R., Nasirov R. K.** Urban planning prospects for the development of underground space in urbanized areas 211

<i>Ptichnikova G. A., Antyufeeva O. A.</i> In the problem of renovation of industrial heritage: the complex of buildings of the Zhigulevsky beer warehouses in Tsaritsyn	221
<i>Sholtyshev V. N.</i> Prerequisites for the use of underground spaces for a public function in large and largest cities of the south of Russia	233
INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE	
<i>Ignatyev A. V., Yurasov N. A., Kulikov M. A.</i> Using GIS technologies in planning the location of preschool and general education organizations	245
INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING AND ENERGY PERFORMANCE	
<i>Chereshnev I. V., Chereshneva N. V., Chereshnev L. I.</i> Building life cycle assessment as the basis for creating a model of the technological energy system of the dwelling	252
ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE	
<i>Kolyshev Yu. B.</i> Drawing in architectural education: theoretical and conceptual aspect	263
<i>From Editorial Team</i>	274

УДК 624.131

Л. А. Бартоломей^а, О. А. Богомолова^б, В. Д. Гейдт^а, А. В. Гейдт^а

^а Тюменский индустриальный университет

^б Волгоградский государственный технический университет

СОПОСТАВЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Согласно действующим российским строительным нормам расчету оснований фундаментов по деформациям предшествует определение величины его расчетного сопротивления R . При условии, что средняя интенсивность $q_{ср}$ внешней нагрузки под подошвой фундамента не превышает величины R , основание считают квазиупругим и его расчет по второму предельному состоянию выполняют в линейной постановке. Принято считать, что расчетное сопротивление соответствует такому уровню интенсивности внешнего воздействия, когда глубина развития областей пластических деформаций под подошвой фундамента достигает глубины, равной четверти ширины последнего. До сих пор величина расчетного сопротивления вычисляется по формуле Н. П. Пузыревского, которая не учитывает жесткость фундамента, численные значения коэффициента Пуассона (или связанного с ним известным соотношением коэффициента бокового давления грунта и материала фундамента), ширины, толщины, глубины заложения последнего, а также высоту и жесткость надфундаментной конструкции. Результаты многих теоретических и экспериментальных исследований говорят о значительно завышенных величинах расчетного сопротивления R , получаемого по формуле Н. П. Пузыревского. В последнее время предприняты попытки усовершенствования этой формулы и внесения новых предложений по расчету величины R для получения более адекватных результатов. Рассмотрены некоторые из этих предложений, проведено сопоставление соответствующих результатов вычисления величины R . Особое внимание уделено вопросу определения величины коэффициента бокового давления грунта, которое необходимо принимать при вычислении величины расчетного сопротивления.

Ключевые слова: расчет по первому и второму предельным состояниям, метод конечных элементов, граничные условия, однородное основание, фундамент конечной жесткости, жесткость надфундаментной конструкции, обобщенный параметр прочности грунта — давление связности, расчетное сопротивление, коэффициент бокового давления грунта, формула Н. П. Пузыревского.

Введение

Согласно действующим российским строительным нормам расчету оснований фундаментов по деформациям предшествует определение величины его расчетного сопротивления R . При условии, что средняя интенсивность $q_{ср}$ внешней нагрузки под подошвой фундамента не превышает величины R , считают основание квазиупругим и его расчет по второму предельному состоянию выполняют в линейной постановке.

Отыскание величины расчетного сопротивления в строительных нормах¹ проводится на основании формулы Н. П. Пузыревского [1]:

$$R_1^{кр} = \frac{\pi(\gamma h + \sigma_{св})}{\operatorname{ctg} \varphi + \varphi - \pi/2} + \gamma h, \quad (1)$$

¹ СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01—83*. М., 2026. 160 с.

после подстановки в скобку числителя дополнительного слагаемого, равного вертикальному напряжению от собственного веса грунта основания на глубине, соответствующей четверти ширины фундамента $\Delta z = \frac{b}{4}$, получим:

$$R = \frac{\pi[\gamma(0,25b + h) + \sigma_{св.}]}{\text{ctg } \varphi + \varphi - \pi / 2} + \gamma h, \quad (2)$$

где $\sigma_{св.} = \frac{c}{\text{ctg } \varphi}$; а c, φ, γ — соответственно удельное сцепление, угол внутреннего трения, объемный вес грунта; b и h — соответственно ширина фундамента и глубина его заложения.

Из формулы (2) видно, что при одинаковых грунтовых условиях величина R может значительно возрасти при увеличении ширины фундаментной плиты b , на что обращает внимание А. В. Пилягин [2, 3].

О том, что величина расчетного сопротивления основания R , вычисляемая по формуле (5.7) СП 22.13330.2016, имеет завышенные значения, говорится и в [4—6]. В этих работах, как и в [2], отмечается, что величина расчетного сопротивления зависит от коэффициента бокового давления грунта ξ_0 .

В транскрипции формулы (2) нет параметров, учитывающих жесткость фундамента, численные значения коэффициентов бокового давления ξ_0 грунта основания и материала фундамента, его толщину, жесткость, глубину заложения и т. д. Возможно, поэтому результаты многих теоретических [7—9] и экспериментальных исследований [10—12] говорят о завышенных значениях величины R , получаемых по формуле (2).

Учесть с помощью аналитических методов все многообразие факторов, определяющих величину расчетного сопротивления R , невозможно. Рассмотрим несколько предложений, которые, по мнению авторов, позволят более точно определять численное значение R . Все эти предложения базируются на использовании метода конечных элементов (МКЭ) для анализа напряженного состояния основания ленточного фундамента. В завершении статьи дается сравнение получаемых с помощью этих предложений результатов.

1. Предложения корректировки процесса вычисления величины предельного сопротивления грунта основания R

1.1. Предложения А. В. Пилягина

Профессором А. В. Пилягиным предложен подход [2, 3] к определению коэффициентов M_γ, M_q, M_c , входящих в формулу (5.7) СП 22.13330.2016.

Используется расчетная схема незаглубленного или незначительно заглубленного гибкого фундамента. Для анализа напряженного состояния грунтового массива используется МКЭ в упругой постановке. Значения напряжений от действия равномерно распределенной нагрузки на глубине, равной $\frac{1}{4}$ ширины подошвы фундамента, найденные при помощи МКЭ, подставляют в условие пластичности, после дифференциации которого определяют максимальное значение глубины развития пластических областей ΔZ_{\max} . Эту же величину можно найти, минимизируя выражение

$$\varphi = \sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{xz}^2} - (\sigma_z - \sigma_x) \sin \varphi, \quad (3)$$

где $\sigma_z, \sigma_x, \tau_{xz}$ — компоненты напряжения в точке грунтового массива; φ — угол внутреннего трения.

Коэффициенты M_γ, M_q, M_c подсчитываются по формулам

$$M_\gamma = \frac{\sin \varphi}{2\varphi}; \quad M_q = \frac{2 \sin \varphi}{\varphi}; \quad M_c = \frac{2 \cos \varphi}{\varphi}. \quad (4)$$

Подробно предложенная методика изложена в [13]. Автор цитируемой работы считает, что данная «методика определения расчетного сопротивления грунта при различных силовых воздействиях, а также при учете жесткости фундаментов и слабых подстилающих слоев грунта будет способствовать повышению эффективности проектных решений».

1.2. Предложения А. И. Осокина и К. Д. Скворцова

В работе [4] заявлено, что формулу (7) СП 22.13330.2016 следует считать приближенной, т. к. при ее выводе закон распределения напряжений в грунтовой среде считался гидростатическим. По мнению авторов [4], соотношение между вертикальным и горизонтальным напряжениями в точке грунтового массива должно быть следующим:

$$\sigma_x = \sigma_z \xi_0 = \sigma_z (1 - \sin \varphi), \quad (5)$$

где $(1 - \sin \varphi) = \xi_0$ — формула, предложенная И. Яки [14] для вычисления величины коэффициента бокового давления грунта; φ — угол внутреннего трения.

Величина коэффициента бокового давления грунта обязательно должна учитываться при определении R , но использование приведенного выше выражения требует убедительного обоснования, т. к. существует очень большое число формул для определения величины ξ_0 , например в [15—19].

К сожалению, в [4] не приведены сравнения величин расчетного сопротивления грунта основания, которые получены по формуле (5.7) СП 22.13330.2016, и на основе их предложений. Представленная авторами формула для определения величины первой критической нагрузки весьма громоздка, сложна для анализа и не позволяет ничего сказать о величине расчетного сопротивления.

1.3. Предложения Ю. О. Матвиенко, В. П. Дыбы, М. П. Матвиенко

В работе [20] приведена методика определения величины расчетного сопротивления основания плитного (ленточного) фундамента, в которой, в отличие от тривиального подхода СП, не рассматривается ширина фундамента b , а в качестве характеристики длины выбирается глубина его заложения h . Формулы для определения напряжений от полосовой нагрузки заменяются формулами для полубесконечной нагрузки (рис. 1).

Не вдаваясь в подробности, представим основные расчетные формулы и последовательность вычисления величины R :

вычисляются коэффициенты для условия прочности Кулона — Мора:

$$A = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (6)$$
$$C = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi};$$

задается глубина проникновения областей пластических деформаций в основание:

$$Z_{\max} = 0,5b; \quad (7)$$

вычисляется расчетное сопротивление грунта основания:

$$K = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1-A}{1+A} - \frac{2\sqrt{A}}{1-A}, \quad (9)$$

$$R_{\text{пл}} = \frac{-h\gamma K - \pi \left(\frac{C}{A-1} + h\gamma + Z_{\max}\gamma \right)}{\pi - K}.$$

Описанное выше решение не учитывает коэффициент бокового давления грунта, жесткость фундаментной плиты и ее толщину.

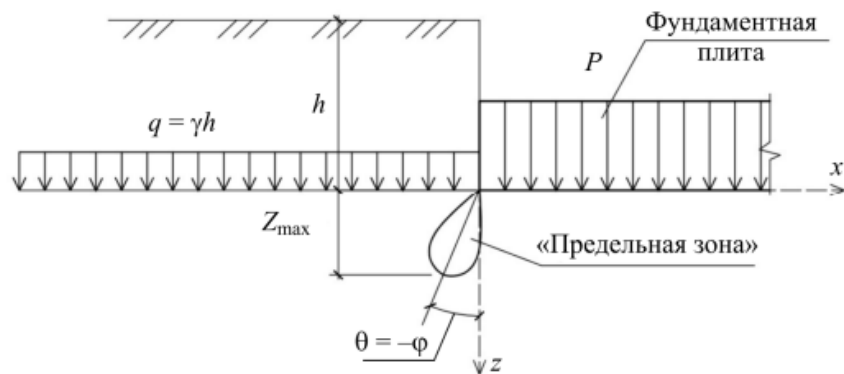


Рис. 1. Расчетная схема к решению Ю. О. Матвиенко, В. П. Дыбы, М. П. Матвиенко [20]

1.4. Предложение авторов

Предложения авторов настоящей публикации подробно изложены в работах [5, 6]. При решении задачи об отыскании величины расчетного сопротивления R для вычисления напряжений в активной зоне фундамента используются компьютерные программы [21, 22], в которых формализован МКЭ. Использование МКЭ предполагает разработку механико-математической модели исследуемого объекта и соответствующей расчетной схемы (РС), дискретизацию ее на конечные элементы и наделение их соответствующими физико-механическими свойствами. Основной операцией, от которой в огромной степени зависит достоверность получаемых при помощи МКЭ результатов, является назначение граничных условий, накладываемых на РС. Обычно на прямоугольную (в нашем случае) РС накладываются тривиальные граничные условия — в точках, лежащих на ее вертикальных границах, горизонтальные перемещения равны 0, а вертикальные не ограничены; в точках РС, расположенных на ее нижней горизонтальной границе, напротив, отсутствуют вертикальные перемещения, а горизонтальные не ограничены; крайние точки нижней границы неподвижны, на перемещения точек, расположенных внутри РС, ограничения не наложены. При назначении размеров

РС предлагается задавать их такими, что при их изменении в большую сторону результаты расчетов остаются практически неизменными. Если РС МКЭ абсолютно симметрична относительно вертикальной оси (в нашем случае), то при численном моделировании можно рассматривать лишь одну ее половину [23].

Как отмечено выше, существует множество формул (табл. 1) для определения величины ξ_0 , поэтому нами уделено особое внимание вопросу о назначении значения коэффициента бокового давления грунтового основания при проведении расчетов.

Таблица 1

Формулы для вычисления коэффициента бокового давления грунта

Автор	Формула
Яки [14]	$\xi_0 = 1 - \sin \varphi$
Флорин [15]	$\xi_0 = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$
Хартман [16]	$\xi_0 = \frac{1 - \sin^2 \varphi}{1 + \sin^2 \varphi}$
Зидек [17]	$\xi_0 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} (0,75 + 0,25)$
Яки — Хартман [14]	$\xi_0 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \left(1 + \frac{2}{3} \sin \varphi \right)$
Бергер [18]	$\xi_0 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \left(1 + \sqrt{0,5\varphi} \right)$
Пузыревский [19]	$\xi_0 = \frac{1}{1 + \frac{\pi}{2} \sin \varphi}$

Из рисунка 2 видно, что теоретически $\xi_0 \in (0; 1)$. Возникает вопрос, какой формулой надо пользоваться, чтобы обеспечить максимальную достоверность получаемого при расчете результата, ведь при одинаковых значениях φ вычисленные по этим формулам значения ξ_0 могут отличаться на 30...45 %?

По нашему мнению, ответ на этот вопрос дан в [24], где приведено аналитическое решение задачи об определении величины коэффициента бокового давления в однородном грунтовом массиве с горизонтальной границей, находящемся в предельном состоянии. Показано, что численные значения коэффициентов бокового давления, полученные по формуле В. А. Флорина [15], отличаются не более чем на 1,9 % от значений ξ_0 , вычисленных в работе [24] для тех же значений φ .

Поэтому при расчете оснований по первому предельному состоянию для определения величины коэффициента бокового давления грунта авторы используют формулу В. А. Флорина [15].

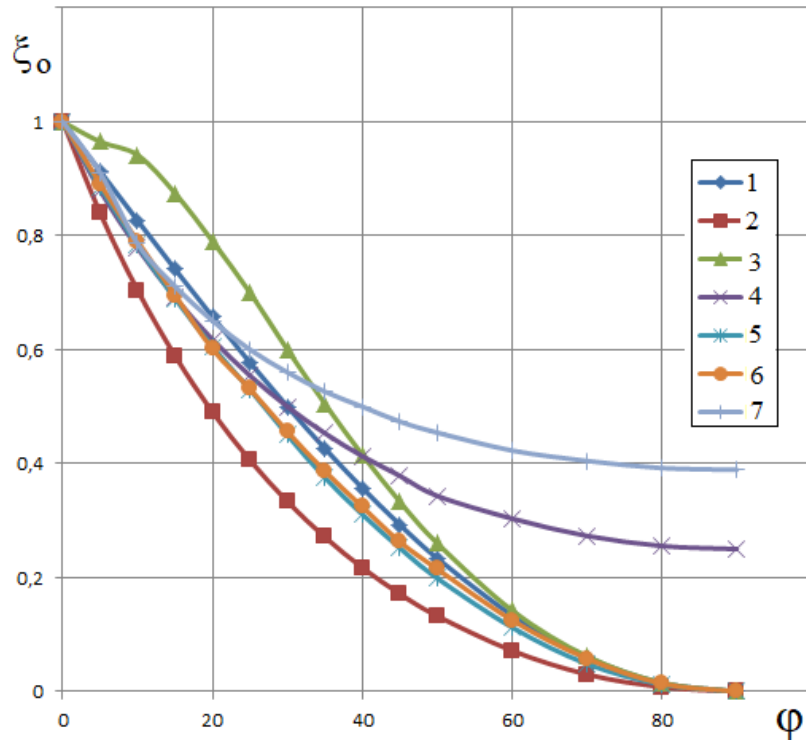


Рис. 2. Графические зависимости $\xi_0 = f(\varphi)$, построенные при помощи формул из табл. 1

2. Сопоставительные расчеты

Рассмотрим однородное основание, сложенное грунтом со следующими физико-механическими характеристиками: удельный вес грунта $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$, угол внутреннего трения $\varphi = 16^\circ$, сцепление $c = 16 \text{ кПа}$. Ширина фундамента и глубина его заложения приняты постоянными и равными соответственно: $b = 2 \text{ м}$ и $h = 1 \text{ м}$. Величина коэффициента бокового давления, вычисленная по формуле В. А. Флорина, равна $\xi_0 = 0,4217$.

Выполним расчет величины предельного сопротивления R на основе описанных выше предложений.

Предварительно заметим, что величина коэффициента бокового давления может быть учтена только при использовании компьютерных программ [21, 22], поэтому вычисления в этом случае выполнены для нескольких значений этой величины $\xi_0 = 0,1; 0,2; 0,5; 0,75; 0,92; 0,95; 0,98; 0,99$, чтобы оценить ее влияние на получаемый результат. РС при этом соответствует РС Н. П. Пузыревского — равномерно распределенная нагрузка с боковыми пригрузками. Величина внешнего воздействия, при которой измеренная на экране монитора глубина развития областей пластических деформаций $\Delta z = \frac{b}{4}$, считается равной R .

В таблице 2 приведены все полученные результаты. На рисунке 3 приведены кривые, построенные по данным табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Расчет величины предельного сопротивления

ξ_0	Формула СП 22.13330.2016	Метод А. В. Пилягина [2, 3]	Компьютерные программы [21, 22]	Метод В. П. Дыбы [20]
	R , кПа			
0,99	136,54	125,56	114,5	76,35
0,98			117	
0,95			118,5	
0,92			117	
0,75			109	
0,5			93	
0,2			76,16	
0,1			70,31	

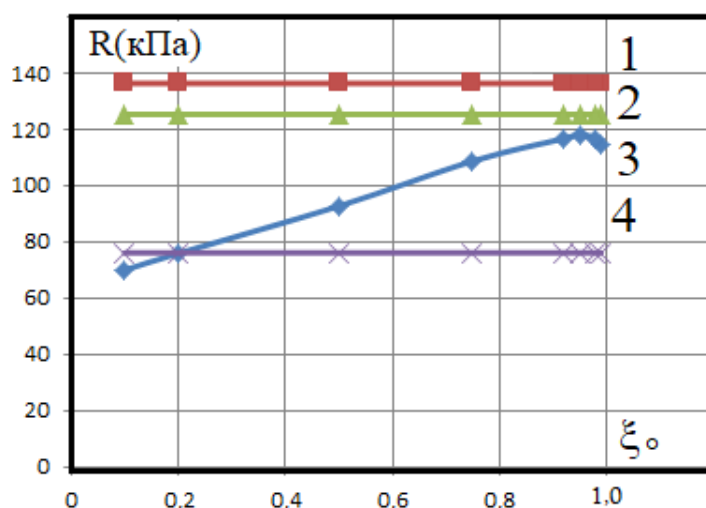


Рис. 3. Графические зависимости вида $R = f(\xi_0)$, построенные на основе данных табл. 2: 1 — формула СП; 2 — решение А. В. Пилягина; 3 — программы [21, 22]; 4 — решение В. П. Дыбы

Анализ данных, приведенных в табл. 2, и соответствующих графических зависимостей показал, что для условий рассмотренного примера численные значения R , вычисленные по формуле СП, больше значений, определенных на основании предложений А. В. Пилягина и В. П. Дыбы, соответственно на 8 и 44 %. Максимальное и минимальное отличия величин R , полученных при помощи компьютерных программ [22, 23], от значения, вычисленного по формуле СП, составляет 48,5 и 13,2 %; от значения, вычисленного по формулам А. В. Пилягина, — 44 и 5,6 % в зависимости от величины ξ_0 . Численное значение R , полученное на основе предложений В. П. Дыбы, в зависимости от величины ξ_0 может быть больше или меньше значений R , полученных при помощи компьютерных программ [21, 22] (см. рис. 3). Минимальное и максимальное отличия этих значений составляют 7,9 и 35,6 %.

Отдельно отметим, что при $\xi_0 = 0,2$ величина расчетного сопротивления R , вычисленная на основании формул, предложенных в работе [20], практически совпадает со значением R , полученным при помощи компьютерных программ [21, 22].

Используя интерполяционные методы и графики (см. рис. 3), определим величину R при величине коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,4217$, вычисленной по формуле В. А. Флорина [15]. Величина расчетного сопротивления оказалась $R_{0,4217} = 67,73$ кПа. Сравнивая это значение со значением $R_{[21]} = 76,35$ кПа, видим, что они отличаются всего на 9,98 %.

Заключение

Численные значения величин расчетного сопротивления R , полученные для одинаковых условий четырьмя способами, существенно отличаются друг от друга. Максимальное значение величины R соответствует формуле СП 22.13330.2016, минимальное — способу, предложенному в работе [20]. Результаты расчетов как МКЭ [21, 22], которые зависят от величины коэффициента бокового давления грунта ξ_0 , при всех значениях ξ_0 , как и рассчитанные способом [20], меньше результатов, получаемых по формулам СП и А. В. Пилягина [2, 3]. При этом результаты МКЭ могут быть как больше, так и меньше (в зависимости от величины ξ_0) результата, полученного способом В. П. Дыбы. При $\xi_0 \approx 0,2$ эти результаты совпадают, а при $\xi_0 = 0,4217$ они отличаются менее чем на 10 %.

Таким образом, можно сделать предположение, что оптимальным с точки зрения достоверности получаемого результата способом отыскания величины R является использование компьютерных программ [21, 22]. Результат расчета величины R способом [20] может являться частным случаем численного решения [21, 22] при каком-то конкретном значении коэффициента бокового давления грунта ξ_0 . Последнее утверждение требует тщательной проверки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пузыревский Н. П. Теория напряженности земляных грунтов. Л. : Ленингр. ин-т инженеров путей сообщения, 1929. 66 с.
2. Пилягин А. В. Определение расчетного сопротивления оснований при различных схемах загрузки // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1998. № 4-5. С. 28—31.
3. Пилягин А. В. К вопросу определения расчетного сопротивления оснований при различных схемах загрузки // Известия КГАСА. 2004. № 1(2). С. 43—44.
4. Осокин А. И., Скворцов К. Д. Оптимизация формулы расчетного сопротивления грунта // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5(82). С. 117—122.
5. Bartolomey L. A., Bogomolova O. A., Geidt V. D., Geidt A. V. Computer simulation of rigid plate settlement on a homogeneous weight base // Construction and Geotechnics. 2022. Vol. 13. No. 2. Pp. 5—17.
6. Бартоломей Л. А., Богомолова О. А., Гейдт В. Д., Гейдт А. В. Численная оценка влияния жесткости надфундаментной части сооружения и деформационных свойств грунтового массива на осадки и устойчивость основания // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 6—18.
7. Гольдштейн М. Н., Кушнер С. Г., Шевченко М. И. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений. Киев : Будівельник, 1977. 208 с.
8. Van Baars S. Failure mechanisms and corresponding shape factors of shallow foundations // Conference: 4th Int. Conf. on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Nicosia, 2016. Pp. 551—558.

9. *Van Baars S.* The influence of superposition and eccentric loading on the bearing capacity of shallow foundations // *Journal of Computations and Materials in Civil Engineering*, 2016. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 121—131.
10. *Vesic A. S.* Analysis of ultimate loads of shallow foundations // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. 2002. Vol. 99. Iss. 118. Pp. 1485—1513.
11. *Vesic A. S., Winterkorn H. F., Fan H. Y.* Bearing capacity of shallow foundations // *Foundation Engineering Handbook*. New York : Van Nostrand Reinhold, 1975. Pp. 121—147.
12. *Zhu M., Michalowski R. L.* Shape Factors for Limit Loads on Square and Rectangular Footings // *Journal of geotechnical and environmental Engineering*. 2005. Pp. 223—231.
13. *Пилягин А. В.* Определение расчетного давления на грунты жестких и гибких ленточных фундаментов при центральной и внецентренной нагрузках // *Основания и фундаменты*. Пермь : ППИ, 1980. С. 3—17.
14. *Jaky J.* The coefficient of earth pressure at rest // *Journal Society Hung. Archit. Engineering*. 1944. Vol. 78. Iss. 22. Pp. 355—388.
15. *Флорин В. А.* Основы механики грунтов. Т. 1. М. Л. : Госстройиздат, 1959. 360 с.
16. *Hartmann F.* Die berechnung des Ruhedruck in Rohasionslosen Boden bei waagerechter Oberflache // *Bautechnik*. 1967. No. 11.
17. *Frank E.* Ruhedruck in Ruhasionslosen Boden in ebenen Fall // *Bautechnik*. 1967. No. 2.
18. *Berger Y.* Der Ruhedruck in der Praxis // *Bauingenieur*. 1966. No. 3.
19. *Пузыревский Н. П.* Фундаменты. Л. : ГНТИ Госстройиздат, 1934. 516 с.
20. *Matvienko J. O., Dyba V. P., Matvienko M. P.* Formula of the design resistance of soil for plate foundations // *Construction and Geotechnics*. 2020. Vol. 12. No. 3. Pp. 37—45.
21. Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009614399 / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков, С. И. Шиян. Волгоград : ВолгГТУ, 2009 г.
22. *Богомолова О. А.* FEA: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015617889. Волгоград : ВолгГТУ, 2015 г.
23. *Zienkiewicz O. C.* The finite element method in engineering science. London : McGraw-Hill, 1971. 531 p.
24. *Богомолов А. Н., Вихарева О. А., Шиян С. И.* К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Естественные науки*. 2007. Вып. 6(23). С. 6—10.

© *Бартоломей Л. А., Богомолова О. А., Гейдт В. Д., Гейдт А. В., 2023*

*Поступила в редакцию
в июне 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Бартоломей Л. А., Богомолова О. А., Гейдт В. Д., Гейдт А. В. Сопоставление величин расчетного сопротивления грунтового основания ленточного фундамента, полученных разными методами // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 3-4(92). С. 5—14.

Об авторах:

Бартоломей Леонид Адольфович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительного производства, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38; geotehnikaurala@yandex.ru

Богомолова Оксана Александровна — канд. техн. наук, доц. каф. математических и естественно-научных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; banzaritsyn@mail.ru

Гейдт Владимир Давидович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительного производства, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

Гейдт Андрей Владимирович — аспирант, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

Leonid A. Bartolomey^a, Oksana A. Bogomolova^b, Vladimir D. Geidt^a, Andrei V. Geidt^a

^a *Industrial University of Tyumen*

^b *Volgograd State Technical University*

COMPARISON OF THE VALUES OF THE CALCULATED RESISTANCE OF THE SOIL BASE OF THE RIBBON FOUNDATION OBTAINED BY DIFFERENT METHODS

According to the current Russian building codes, the calculation of the foundations of the foundations for deformations is preceded by the determination of the value of its design resistance R . Provided that the average intensity of the qsr of the external load under the sole of the foundation does not exceed the value of R , the base is considered quasi-elastic and its calculation according to the second limit state is performed in a linear formulation. It is considered that the calculated resistance corresponds to such a level of intensity of external influence when the depth of development of areas of plastic deformations under the sole of the foundation reaches a depth equal to a quarter of the width of the latter. Until now, the value of the calculated resistance is calculated according to the formula N. P. Puzyrevsky, which does not take into account the rigidity of the foundation, the numerical values of the Poisson's ratio (or the associated known ratio of the lateral pressure coefficient of the soil and the foundation material), the width, thickness, depth of the latter, as well as the height and stiffness of the foundation structure. The results of many theoretical and experimental studies indicate significantly overestimated values of the calculated resistance R , obtained by the formula of N. P. Puzyrevsky. Recently, attempts have been made to improve this formula and make new proposals for calculating the value of R in order to obtain more adequate results. Some of these proposals are considered, and the corresponding results of calculating the value of R are compared. Special attention is paid to the issue of determining the value of the lateral pressure coefficient of the soil, which must be taken into account when calculating the value of the calculated resistance.

Key words: calculation according to the first and second limit states, finite element method, boundary conditions, homogeneous base, foundation of finite rigidity, rigidity of the foundation structure, generalized parameter of soil strength — connectivity pressure, design resistance, coefficient of lateral pressure of the soil, formula of N. P. Puzyrevsky.

For citation:

Bartolomey L. A., Bogomolova O. A., Geidt V. D., Geidt A. V. [Comparison of the values of the calculated resistance of the soil base of the ribbon foundation obtained by different methods]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 5—14.

About authors:

Leonid A. Bartolomey — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Industrial University of Tyumen. 38, Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation; geotekhnika@yandex.ru

Oksana A. Bogomolova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; banzaritcyn@mail.ru

Vladimir D. Geidt — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Industrial University of Tyumen. 38, Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation

Andrei V. Geidt — Postgraduate student, Industrial University of Tyumen. 38, Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation

УДК 962.48

А. В. Голиков, В. А. Терновой, П. В. Якимив

Волгоградский государственный технический университет

ХАРАКТЕР РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ПОКРЫТИЯ С БАЛОЧНЫМИ ФЕРМАМИ ПЕРЕКРЕСТНОЙ СИСТЕМЫ

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния исследуемого блока покрытия, проанализированы характер и причины образования повреждений и дефектов, а также их влияние на несущую способность конструкций покрытия, определены резервы несущей способности. Даны рекомендации по защите сталежелезобетонных конструкций от контактных коррозионных повреждений, предложены рекомендации по проектированию конструкций с равномерным распределением запасов несущей способности.

Ключевые слова: обследование, техническое состояние, несущие конструкции, сталежелезобетонные конструкции, покрытие, дефекты, повреждения, напряженно-деформированное состояние, несущая способность.

Введение

На реальную работу конструкций может влиять множество факторов — любые отклонения от проектных решений, значительное превышение фактических нагрузок и воздействий предусмотренных проектных значений, условия эксплуатации, наличие и своевременность выполнения ремонтно-восстановительных работ. Знание о реальной работе конструкций предоставляет возможность более точного определения остаточного ресурса здания, а также позволяет предотвратить аварии с большим социальными и экономическими последствиями.

Цель исследования состоит в оценке действительной работы стальных конструкций покрытия нетиповой сложной формы с учетом реализовавшегося характера нагружений, условий эксплуатации и степени развития повреждений и дефектов.

Достижение цели реализуется решением следующих задач:

- систематизировать данные результатов обследования и определить действительную конструктивную схему покрытия;
- определить причины и степень развития повреждений и дефектов;
- создать пространственную расчетную схему исследуемого объекта с учетом реализовавшихся повреждений и дефектов;
- оценить характер распределения напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов исследуемого блока покрытия, определить распределение резервов несущей способности для реализовавшейся геометрии при восприятии действующих нагрузок.

Объект исследования — несущие строительные конструкции покрытия нетиповой сложной конструктивной формы с кольцевым участком для размещения встраиваемого здания ствольной конструктивной системы.

Предмет исследования и, соответственно, научная новизна состоят в установлении явления распределения коррозионного повреждения стальных

поясов в составе сталежелезобетонного элемента покрытия и в установлении характера распределения напряженного состояния стержней ферм покрытия перекрестной системы с кольцевым вырезом.

Характеристика конструктивных решений

По конструктивной схеме исследуемый участок представляет собой пространственный блок покрытия габаритными размерами 60,0×36,0 м. Блок состоит из балочных ферм перекрестной системы. Схема расположения ферм блока покрытия и разрезы здания представлена на рис. 1—3.

Главные фермы предусмотрены вдоль осей «В» и «Е». Пролет ферм составляет 21,25 м.

Опирающие главные фермы с одной стороны выполнено на центральный ствол кольцевого сечения внутренним диаметром $\varnothing 20800$ мм, с другой стороны фермы марки Ф7-1 опираются на лестничный блок по оси 28, а фермы марки Ф7-2 на колонны каркаса здания в пересечении осей 37/«В» и 37/«Е».

Кольцевой ствол представляет собой массивную железобетонную оболочку, несущую по большей части декоративную функцию.

Второстепенные фермы вдоль цифровых осей предусмотрены однопролетными с двумя консолями и установлены по цифровым осям. Пролет ферм $L = 18,0$ м, вылет консолей $l_k = 9,0$ м. Наиболее нагруженными являются второстепенные фермы, установленные вдоль осей 31—34. Фермы марок Ф9-1 выполнены пролетом 18,0 м и, в свою очередь, являются опорными для однопролетных балочных ферм, установленных вдоль осей 32 и 33.

Тип решетки ферм — треугольная с дополнительными распорками. Высота ферм по обушкам составляет 3300 мм. Сечения элементов ферм пояса и раскоса выполнены из двух равнополочных уголков, расположенных тавром; для стоек применены сечения из уголков, расположенных крестом.

Здание имеет сборный железобетонный каркас и достаточно протяженную форму, по длине здание разделено на четыре блока. В зоне деформационного шва стальные фермы марки Ф1-3 смещены от оси 27 на 250 мм и от оси 37 на 500 мм. Второстепенные фермы по осям 31 и 34 смещены от оси на 250 мм для возможности размещения железобетонного ствола встроенного здания.

Фермы объединены в совместную работу системой вертикальных и горизонтальных связей сечением из уголков, расположенных крестом.

Кровля выполнена рулонной по сборным железобетонным плитам:

- ребристым марки ПНС-19 по серии ПК-01-111 — в осях 27—30, 32—33, 35—36;
- плоским марки ПТП26-12А по серии ИИ-03-02 — на остальных прямоугольных участках;
- монолитные вставки между плитами, а также на круговых участках у ствола.

При анализе проектной документации выявлено, что в первоначальном варианте проекта предусматривался единый диск покрытия из плоских плит. В дальнейшем была произведена частичная замена плит на ребристые и выполнено устройство дополнительной усиливающей монолитной плиты по верху сборных плит.

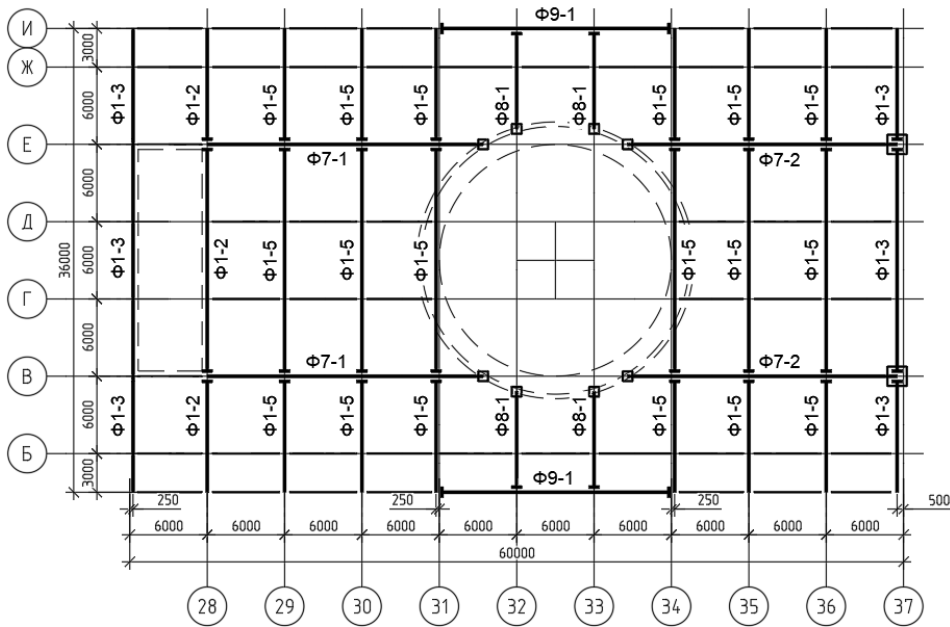


Рис. 1. Схема расположения ферм покрытия

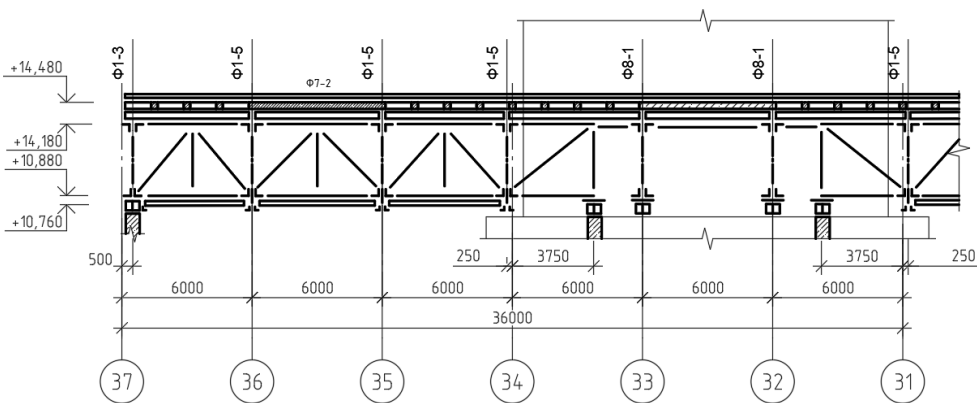


Рис. 2. Продольный разрез по блоку здания

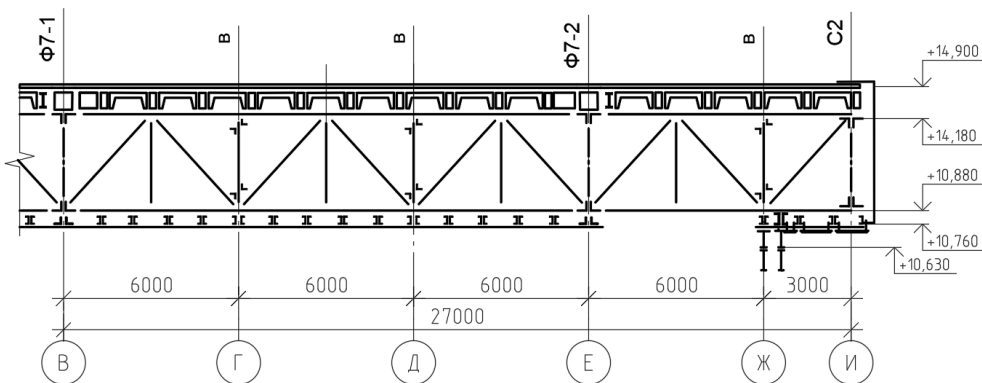


Рис. 3. Поперечный разрез по блоку здания

Железобетонный диск покрытия за счет наличия упоров включается в совместную работу с несущими фермами покрытия, компенсируя при этом нехватку несущей способности металлических уголков, и исключает возможность потери устойчивости верхних сжатых поясов главных ферм в направлении из плоскости фермы.

Опирающие ребристые плиты выполнены на фермы марок Ф1-5.

Опирающие сплошнотелые плоские плиты выполнены на стальные балки (прогоны), установленные с шагом 3,0 м. Прогоны выполнены сечением из двух двутавров № 27 и двух двутавров № 30М, объединенных попарно.

По периметру покрытия установлены массивные железобетонные фризовые панели, весом 1,5 т каждая.

Характеристика реализовавшихся повреждений и дефектов

Характеризующим фактором оценки безопасной эксплуатации здания является классификация и систематизация причин, приводящих к повреждениям. Данными вопросами в своих работах занимались Г. А. Аратюнян [1], К. К. Нежданов, А. Н. Жуков [2], А. З. Белик [3], Г. И. Белый [4], В. В. Губанов [5], Б. И. Беляев [6], В. С. Бабалич [7]. В [8] говорится, что основной причиной развития повреждений является длительная эксплуатация сооружения без надлежащего обслуживания. Анализируя дефекты и повреждения, реализовавшиеся в процессе эксплуатации объекта, можно выделить следующие причины их образования:

- несоответствие действительной геометрии проектным решениям;
- изменения путей передачи нагрузки и характера нагружения несущих конструкций;
- ошибки, допущенные при проектировании и монтаже;
- изменение конструктивных и объемно-планировочных решений в процессе эксплуатации объекта;
- отсутствие плановых ремонтно-восстановительных работ.

В ходе обследования объекта выявлены наиболее значимые повреждения и отступления от проекта, влияющие на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций покрытия:

- применение сечений, отличных от проекта — использованы сечения с меньшей площадью, элементы из стали с меньшим расчетным сопротивлением (вместо элементов из стали С345 применены элементы из стали с расчетным сопротивлением $R_y = 190$ МПа);
- в проекте не предусмотрено устройство горизонтальных связей в уровне нижних сжатых поясов второстепенных ферм в консольных участках, при этом присутствует расцентровка элементов горизонтальных связей рядом с кольцевым участком в уровне верхних поясов ферм;
- по сборным плитам покрытия выполнена усиливающая плита неравномерной толщины, в пролетной части — 40 мм, в консольной — 90 мм, предполагаемая причина — прогибы консольных участков при устройстве диска покрытия;
- вес многослойной конструкции кровли достигает $1,1 \text{ т/м}^2$ (рис. 4);
- низкое качество бетонных работ в уровне верхних поясов ферм, оголение рабочей арматуры, толщина защитного слоя бетона не соответствует требованиям нормативных документов;

- обширные площади замачивания, причинами которых является отсутствие плановых ремонтных работ по восстановлению кровельного ковра, а также протечки ливневой канализации.

Наиболее часто встречающиеся дефекты и повреждения, реализовавшиеся в процессе эксплуатации в несущих фермах:

- искривления раскосов стрелкой до $f = 3$ мм;

- погнутость элементов ферм до $f = 20$ мм, развившиеся в результате потери устойчивости от реализации неблагоприятных сочетаний нагрузок;

- применение сечений, ослабленных отверстиями, и сечений, выполненных из уголков различных номеров;

- коррозионный износ элементов и отсутствие лакокрасочного покрытия;

- коррозионные повреждения поясов в зоне контакта с железобетонными плитами в результате систематического замачивания (рис. 5);

- отсутствие шпренгелей, раскрепляющих раскосы консольных ферм по осям 32, 33 и предусмотренных проектом по усилению.

Повреждения конструкций горизонтальных и вертикальных связей:

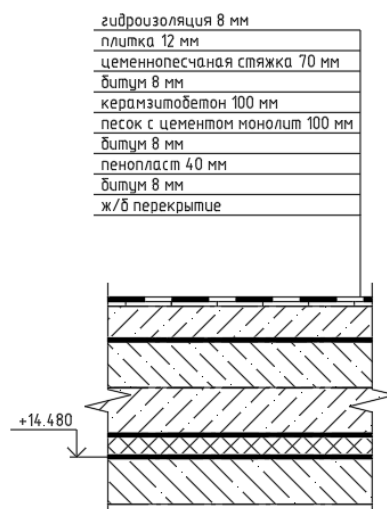
- повреждение элемента с уменьшением поперечного сечения при устройстве ливневой канализации;

- коррозионный износ горизонтальных связей во фризевом пространстве до 20 % толщины уголка.

Повреждения конструкций железобетонного диска покрытия:

- замачивание и выщелачивание поверхности бетона площадью до $A = 10 \text{ м}^2$;

- замачивание плит у отверстий ливневой канализации;



Состав	Нагрузка	
	Нормативная, кН/м ²	Расчетная, кН/м ²
Кровельный ковер (стеклоизол)	0,104	0,115
Керамическая плитка	0,337	0,371
Цементно-песчаная стяжка	1,379	1,517
Гидроизоляция (слой битума)	0,094	0,104
Разуклонка из керамзитобетона	1,525	1,678
Цементно-песчаная стяжка	1,79	1,969
Гидроизоляция (слой битума)	0,094	0,104
Утеплитель (пенополистирол)	0,032	0,035
Гидроизоляция (слой битума)	0,094	0,104
Плита усиления	2,375	2,85
Итого на плиту покрытия	7,825	8,845

Рис. 4. Состав покрытия



Рис. 5. Коррозионные повреждения поясов в зоне контакта с железобетонными плитами в результате систематического замачивания

- коррозионный износ арматуры;
- замачивание стыков плит длиной до $l = 6$ м;
- коррозионный износ верхних полок прогонов покрытия.

Характеристика напряженно-деформированного состояния несущих элементов покрытия

В ходе работы определены фактические нагрузки, действующие на конструкции покрытия. Существенное влияние на увеличение усилий в элементах покрытия оказывает нагрузка от веса кровельного ковра и равномерно распределенной (полезной) нагрузки от персонала на эксплуатируемой кровле. Наличие технологического оборудования и тяжелых бетонных горшков под цветы дополнительно загружают консольные участки покрытия.

Фермы покрытия работают не по классической схеме, нижние пояса пролетной части второстепенных ферм марки Ф5-1 испытывают сжатие. Негативное влияние на работу поясов оказывает отсутствие горизонтальных связей в уровне нижнего пояса ферм. Фермы марки Ф8-1 работают не как консольные, а как опертые с 2 сторон: с одной стороны — на железобетонное кольцо, а с другой — на ферму марки Ф9-1, при этом дополнительно поддерживаясь элементами горизонтальных связей в уровне верхнего пояса. Усилия, возникающие в нижних поясах как главных, так и второстепенных ферм, частично распределяются на элементы подвесного потолка.

Для оценки резервов несущей способности сооружения выполнен поверочный расчет. Вопросами оценки технической состояния и определения резервов несущей способности в своих работах занимались Е. В. Горохов [9], Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин [10, 11]. Опыт оценки технического состояния, накопленный указанными учеными и их коллективами, учтен при обследовании исследуемого покрытия.

Определены резервы несущей способности элементов несущих ферм с учетом имеющихся дефектов и повреждений при текущем режиме эксплуатации. Расчет стальных элементов решетки ферм производился как центрально-сжатых (растянутых), а отдельных элементов — как внецентренно-сжатых (растянутых) согласно СП 16.13330.2017¹, верхние пояса ферм рассчитывались как сталебетонные элементы (рис. 6) согласно требованиям СП 266.1325800.2016².

Разброс запасов несущей способности элементов главной фермы представлен на рис. 7, 8. Основной причиной перенапряжений отдельных элементов ферм является применение элементов с меньшим расчетным сопротивлением и применение сечений с меньшей площадью и моментами инерции.

Схема и диаграмма разброса запасов несущей способности элементов наиболее нагруженной рядовой фермы приведены на рис. 9, 10.

Диаграммы разбросов запасов несущей способности элементов соседних ферм марки Ф5-1 приведены на рис. 11, 12.

¹ СП 16.13330.2017. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Приказ Минстроя России от 27.02.2017 № 126/пр. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14474>.

² СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. Приказ Минстроя России от 30.12.2016. № 1030/пр. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13674>.

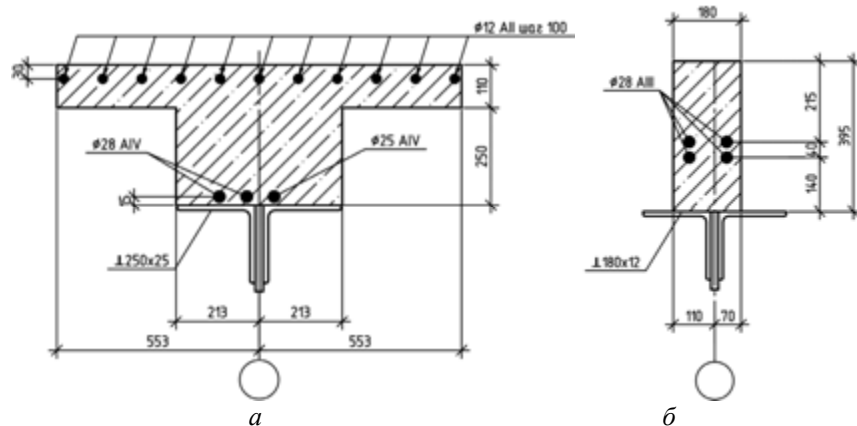


Рис. 6. Расчетное сечение верхнего пояса фермы: *a* — верхний пояс главной фермы; *б* — верхний пояс второстепенной фермы

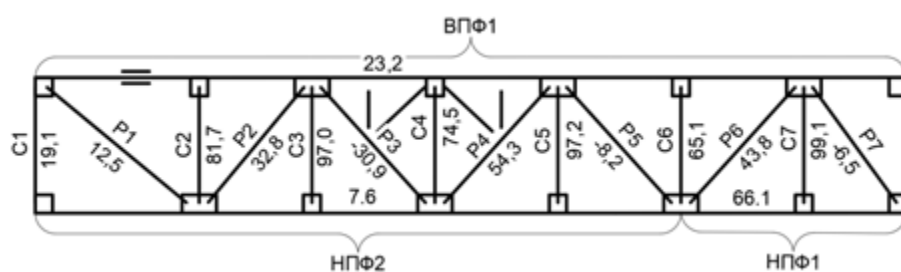


Рис. 7. Схема распределения запасов несущей способности: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

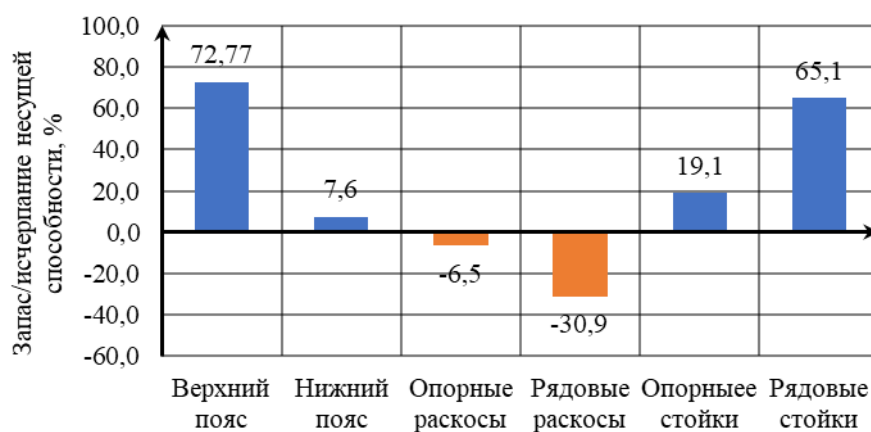


Рис. 8. Диаграмма запаса несущей способности элементов главной фермы: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

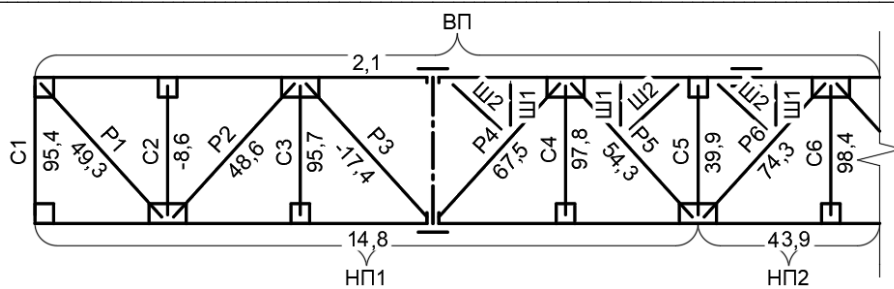


Рис. 9. Схема запасов несущей способности фермы Ф5-1 по оси 3: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

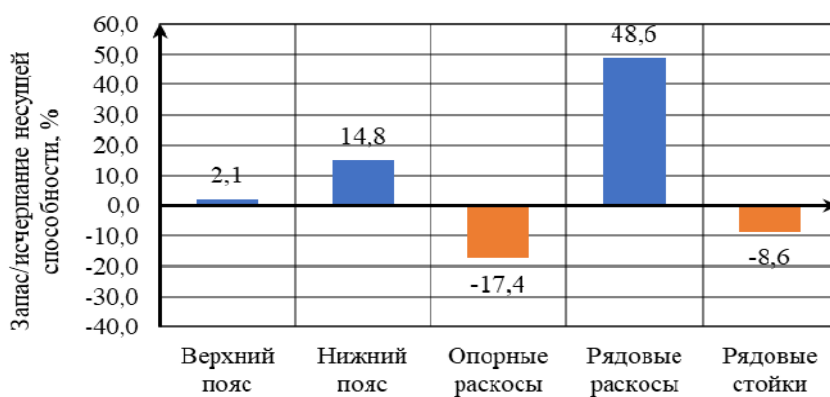


Рис. 10. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 34: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

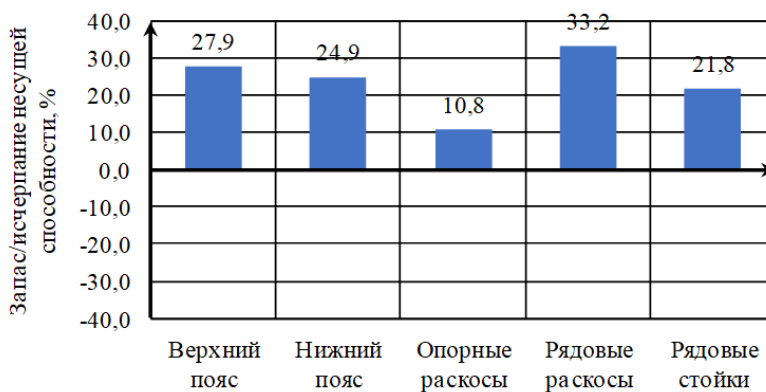


Рис. 11. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 35: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

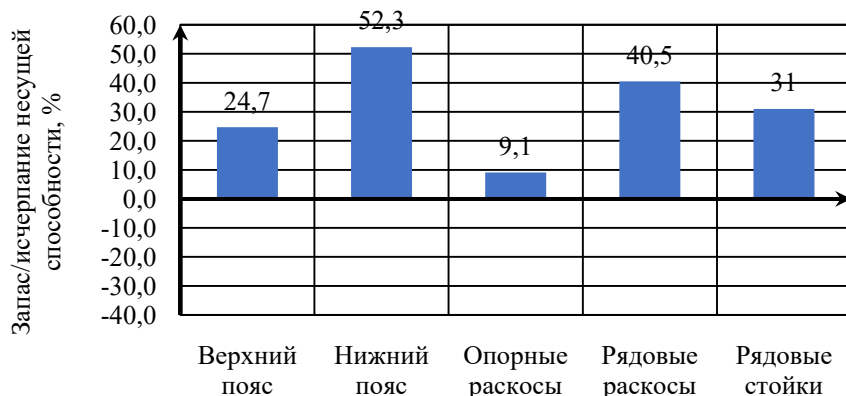


Рис. 12. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 36: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

В результате систематических замачиваний элементы второстепенных ферм — верхний пояс и раскос — значительно поражены коррозией. Схемы неравномерного повреждения уголков фермы приведены на рис. 13. Скорость коррозионного износа уголков верхних поясов ферм, находящихся во фризном пространстве, за срок эксплуатации, составляющий на момент обследования 33 года, составила 58 мкм в год. При этом значительного снижения несущей способности не наблюдается, так как поврежденный верхний пояс крайней панели и поврежденный раскос испытывают малые усилия.

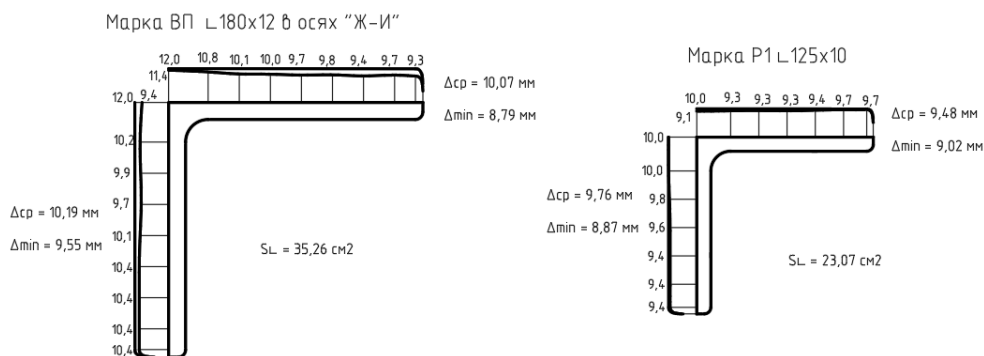


Рис. 13. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 36: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

Выводы и рекомендации

1. Систематизированы повреждения и дефекты, влияющие на напряженно-деформированное состояние конструкции покрытия. Основными причинами реализовавшихся повреждений являются халатность при проектировании и монтаже, несвоевременные ремонтно-восстановительные работы или их отсутствие, превышение проектных нагрузок, нарушение правил эксплуатации.

2. Анализ примененных конструктивных решений показал, что наиболее неблагоприятное действие на работу конструкций оказывает решение, принятое при проектировании — отсутствие горизонтальных связей в уровне нижних сжатых поясов в консольных участках покрытия.

Расчетным путем подтверждена потеря устойчивости отдельных поясов и элементов решетки. Выявлены превышения расчетного сопротивления стали напряжений в элементах ферм: главных ферм — до 30,9 %, второстепенных — до 17,4 %. Участки верхних поясов второстепенных ферм фризového пространства со значительными коррозионными повреждениями имеют запас прочности не ниже 38 %. Для дальнейшей безопасной эксплуатации необходимо устранить причины образования повреждений — ликвидировать замачивание несущих конструкций, провести работы по восстановлению защитного лакокрасочного покрытия, произвести усиление отдельных элементов.

3. Дальнейшее нагружение конструкции покрытия (технологическим оборудованием или эксплуатируемыми помещениями) приведет к большему перенапряжению в максимально нагруженных стержнях и к потере прочности и устойчивости отдельных элементов, напряжения в которых при устоявшемся режиме эксплуатации уже близки к расчетному сопротивлению стали.

4. На основе анализа напряженно-деформированного состояния несущих конструкций покрытия можно сделать вывод о необоснованности принятой типизации сечений несущих конструкций.

Все второстепенные фермы марки Ф1-5 выполнены из элементов одинакового сечения, при этом ферма, находящаяся ближе к кольцу, более нагружена. Об указанной особенности нагружения можно сделать вывод по следующим причинам: наличие встроенных помещений, опирающихся на ферму, и на ферму приходится участок покрытия с наиболее тяжелой кровлей. Ошибки при расстановке связей изменили пути передачи нагрузки на ферму, что привело к появлению дополнительных усилий в стержнях фермы.

Работающая в составе покрытия ферма марки Ф3-1, находящаяся у деформационного шва, имеет такие же сечения элементов, как и ферма марки Ф1-5, при этом имеет запасы несущей способности более 60 %, что нерационально.

При разработке проектов необходимо придерживаться требований нормативных документов по назначению сечений несущим элементам без чрезмерных запасов несущей способности для рационального использования материала, уменьшения веса конструкций и стоимости их изготовления. При этом важным остается выполнение требований по рациональной унификации отдельных элементов и конструкций в целом.

5. При анализе нормативной и методической документации выявлено отсутствие рекомендаций по коррозионной защите мест контакта стали с железобетоном. Вопрос в полной мере не раскрыт современными авторами, работающими в направлении защиты от коррозии. В СП 266.1325800.2016 и СП 35.13330.2010 указывается, что «при сборной железобетонной плите между стальным верхним поясом и железобетонной плитой должен быть предусмотрен слой бетона или раствора, предохраняющий верхний пояс от коррозии. При толщине слоя раствора более 5 см его необходимо армировать». Иные рекомендации о предотвращении коррозии отсутствуют. Из-за отсутствия четких указаний для исключения контактной коррозии стали предлагается ввести

в практику обетонирование мест контакта раствором марки по водонепроницаемости не ниже железобетонной части и не ниже W4, либо вводить специальные добавки в контактный слой бетона [12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арутюнян Г. А. Защищенность блоков покрытий промышленных зданий с поврежденными несущими конструкциями от прогрессирующего обрушения // Вестник МГСУ. 2015. № 9. С. 16—27.
2. Нежданов К. К., Жуков А. Н. Анализ состояния и причин обрушений строительных конструкций в промышленных зданиях // Региональная архитектура и строительство. 2011. № 1. С. 80—84.
3. Белик А. З. Надежность стальных конструкций зданий и сооружений в период эксплуатации // Известия Юго-западного государственного университета. Серия : Техника и технологии. 2012. № 2-2. С. 86—90.
4. Белый Г. И. Причины снижения надежности и приближенная оценка ресурса стальных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 264.
5. Губанов В. В., Москаленко В. И. Опыт ликвидации последствий аварии промышленного здания // Металлические конструкции. 2008. Т. 14. № 3. С. 181—188.
6. Беляев Б. И., Корниенко С. В. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения. М. : Стройиздат, 1968. 208 с.
7. Восстановление ресурса строительных конструкций цехов металлургических предприятий / В. С. Бабалич, К. А. Сухин, Ю. С. Вильгельм, В. Н. Власов, К. Н. Сухина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 7—16.
8. Голиков А. В., Лейчу Ф. Ф. Повреждаемость и действительная работа стальных конструкций покрытий балочного типа в составе конструкций каркасов зданий // Металлические конструкции. 2022. Т. 28. № 1. С. 33—49.
9. Горохов Е. В., Югов А. М. Оценка технического состояния и техническая диагностика металлических конструкций промышленных зданий и сооружений // Строитель Донбасса. 2019. № 2(7). С. 15—25.
10. Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н., Терехов И. А. Одноэтажные производственные здания с эксплуатируемыми площадями в межферменном пространстве // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 6. С. 28—31.
11. Определение срока службы конструкций, зданий и сооружений / Н. Г. Келасьев, Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов, С. Д. Шмаков, А. Б. Чаганов // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 2. С. 12—17.
12. Фомичев В. Т., Савченко А. В., Губаревич Г. П. Применение добавок нитропроизводных бензимидазола для защиты стальных конструкций от коррозии // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 34—43.

© Голиков А. В., Терновой В. А., Якимив П. В., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Голиков А. В., Терновой В. А., Якимив П. В. Характер развития повреждений и распределения напряженно-деформированного состояния в несущих конструкциях эксплуатируемого покрытия с балочными фермами перекрестной системы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 15—26.

Об авторах:

Голиков Александр Владимирович — канд. техн. наук, доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; alexandr_golikov@mail.ru

Терновой Владислав Андреевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; v.ternovoy2014@yandex.ru

Якимив Павел Владимирович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; pyakimiv02@gmail.com

Aleksandr V. Golikov, Vladislav A. Ternovoy, Pavel V. Yakimiv

Volgograd State Technical University

**THE NATURE OF DAMAGE DEVELOPMENT
AND DISTRIBUTION OF THE STRESS-STRAIN STATE
IN THE LOAD-BEARING STRUCTURES OF THE OPERATED COATING
WITH BEAM TRUSSES OF THE CROSS SYSTEM**

The analysis of the stress-strain state of the investigated coating block was carried out, the nature and causes of damage and defects formation were analyzed, as well as their effect on the bearing capacity of the coating structures, the reserves of the bearing capacity were determined. Recommendations for the protection of steel-reinforced concrete structures from contact corrosion damage are given, recommendations for the design of structures with a uniform distribution of load-bearing capacity reserves are proposed.

Key words: inspection, technical condition, load-bearing structures, steel-reinforced concrete structures, coating, defects, damage, stress-strain state, load-bearing capacity.

For citation:

Golikov A. V., Ternovoy V. A., Yakimiv P. V. [The nature of damage development and distribution of the stress-strain state in the load-bearing structures of the operated coating with beam trusses of the cross system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 15—26.

About authors:

Aleksandr V. Golikov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; alexandr_golikov@mail.ru

Vladislav A. Ternovoy — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; v.ternovoy2014@yandex.ru

Pavel V. Yakimiv — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; pyakimiv02@gmail.com

УДК 624.131.1: 624.131.22

**Ю. И. Олянский^а, Е. В. Щекочихина^а, Д. А. Кузьменко^а, А. В. Татаркин^б,
К. А. Алванян^б**

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Пермский государственный национальный исследовательский университет*

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ НЕЗАСОЛЕННЫХ И ЗАСОЛЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ПРИ ДИФФУЗИОННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

Проанализированы результаты лабораторных экспериментов по выщелачиванию глинистых пород различного генезиса, возраста, состава и физико-механических свойств. Рассчитаны коэффициенты устойчивости к обводнению неогеновых глин различной степени засоления. Сделанные выводы найдут свое применение в гидротехническом, промышленном и гражданском строительстве.

К л ю ч е в ы е с л о в а: диффузионное выщелачивание, сарматские глины, коэффициент устойчивости к обводнению, степень засоления глин.

Выщелачивание — суть вынос растворенного вещества из породы, этому предшествует растворение вещества (соли). Оба эти процесса взаимно связаны — активное растворение соли предопределяется ее выносом в форме раствора. Миграция растворенных солей, содержащихся в поровом растворе породы, возможна посредством молекулярной и конвективной (фильтрационной) диффузии. В системе «порода — вода» устанавливается подвижное физико-химическое равновесие, а содержащиеся в породе соли переходят в водный раствор, насыщая его, и процесс дальнейшего растворения прекращается. Чтобы процесс растворения солей продолжался, необходимо нарушить установившееся равновесие, что происходит при поступлении новых порций воды, ненасыщенной по отношению к солям породы. В слабопроницаемых глинах солеводоперенос осуществляется посредством молекулярной диффузии и обусловлен градиентом концентрации. В легкопроницаемых суглинках, песках, а также в трещиноватых породах солеводоперенос происходит как под влиянием градиента концентрации, так и движущимся водным потоком, т. е. посредством конвективной диффузии.

В природе процессы выщелачивания широко развиты, их активность подчиняется климатической зональности — максимальное выщелачивание пород наблюдается в гумидных зонах под воздействием пресных атмосферных и подземных вод, как правило, обогащенных углекислотой, кислородом и органическими кислотами, поступающими в воду в результате разложения отмерших растений.

Выщелачивание солей в слабопроницаемых глинах представляет собой движение ионов в поровом растворе от мест с их повышенной концентрацией к местам с пониженной концентрацией. С диффузионным перемещением солей в поровых растворах глин взаимно связано осмотическое перемещение растворителя — воды, идущее в направлении, противоположном движению солей, и тем самым способствующее выравниванию концентрации поровых вод и замедлению диффузионного солепереноса.

Активность процесса диффузионного выщелачивания в глинах определяется:

- диффузионной проницаемостью, которая контролируется составом и физическим состоянием глин и снижается по мере их дегидратации и уплотнения;
- градиентом концентрации солей;
- гидродинамическим и гидрохимическим режимом контактирующих с глинами водоносных горизонтов;
- температурным режимом и другими факторами.

Установлено, что глины активно выщелачиваются пресными подземными водами, обогащая их солями. При этом наряду с растворением и выносом солей в глинах активно протекают обменные реакции между катионами поровых вод и обменными катионами поглощающего комплекса. На крайних стадиях рассоления, когда все легкорастворимые соли и гипс из глин удалены, происходит их рассолонцевание — в поровых водах накапливается сода (Na_2CO_3) за счет поступления обменного натрия [1].

Пресные поверхностные и подземные воды, контактируя с засоленными глинами, будут способствовать их диффузионному выщелачиванию. При этом происходит понижение минерализации поровых вод, изменяется их состав и состав обменных катионов, снижается в породе содержание карбонатов и гипса как следствие указанных изменений, формируются новые физико-механические свойства пород.

Исследованием засоленных сарматских глин различного возраста и происхождения в условиях длительного взаимодействия с водой по методике ПНИИИСа в разные годы занимались: Н. П. Затенацкая, Н. С. Реутова, Н. А. Окнина, С. И. Пахомов, А. М. Монюшко и др. Изменения вещественного состава и физико-механических свойств при диффузионном выщелачивании изучены для сарматских глин Центрального Предкавказья, майкопских Северного Прикаспия и Центрального Предкавказья, сыртовых глин Заволжья, четвертичных глин Центрального Предкавказья [2], хвалынских глин Северного Прикаспия, четвертичных глин Центрального Предкавказья. В таблицах 1, 2 представлены характеристики указанных глин по данным различных авторов. Данные о выщелачивании незасоленных сарматских глин приведены в [3].

Анализ особенностей изменения состава и свойств незасоленных и засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании выполнен по следующим показателям: содержание дисперсной фракции, коэффициент агрегированности дисперсной фракции, содержание водорастворимых солей, содержание гипса, степень выщелоченности, содержание карбонатов, влажность, плотность сухого грунта, угол внутреннего трения, удельное сцепление. Количественные изменения состава и свойств незасоленных и засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании приведены в табл. 3 [1].

Содержание дисперсной (менее 0,005 мм) фракции и коэффициент ее агрегированности

Морские незасоленные глины сармата с пластифицировано-коагуляционным типом структурных связей (коэффициент агрегированности в среднем около 2,0), не содержащие пирита, при выщелачивании диспергируются за счет выноса цементирующих солей и в первую очередь гипса. При этом существенно повышается содержание дисперсной фракции (примерно на 30 %) и настолько же уменьшается коэффициент ее агрегированности. Похожие процессы происходят и при выщелачивании загипсованных четвертичных глинистых пород (см. табл. 3).

Таблица 1

Изменение состава и свойств засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании (по Н. П. Затенацкой [2])

Регионально-генетический тип пород	Глубина, м	Влажность	Плотность сухого грунта, г/см ³	Предел текучести	Число пластичности	Содержание дисперсной фракции, % (микроагрегатный анализ)	Содержание водорастворимых солей и степень выщелоченности, %	Коэффициент агрегированности дисперсной фракции	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, с МПа	Пластическая прочность, P_m , МПа	Продолжительность выщелачивания, сут
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Монтмориллонитовые глины												
Четвертичные глины Центрального Предкавказья	9,0	$\frac{0,20}{0,25}$	$\frac{1,74}{1,46}$	$\frac{0,46}{0,49}$	$\frac{0,22}{0,23}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{2,4}{0,6}$ 0,25	$\frac{16,0}{20,0}$	$\frac{26}{8}$	$\frac{0,30}{0,02}$	$\frac{1,90}{0,15}$	210
	11,0	$\frac{0,20}{0,25}$	$\frac{1,52}{1,21}$	$\frac{0,53}{0,62}$	$\frac{0,22}{0,31}$	$\frac{50}{57}$	$\frac{1,2}{0,4}$ 0,30	$\frac{1,4}{1,3}$	$\frac{16}{5}$	$\frac{0,12}{0,02}$	$\frac{1,10}{0,08}$	80
	3,0	$\frac{1,52}{1,21}$	$\frac{1,58}{1,62}$	$\frac{0,44}{-}$	$\frac{0,20}{-}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{2,0}{1,2}$ 0,60	$\frac{14,0}{12,0}$	$\frac{20}{17}$	$\frac{0,19}{0,03}$	$\frac{1,20}{0,30}$	28
	10,0	$\frac{1,52}{1,21}$	$\frac{1,59}{1,32}$	$\frac{0,45}{-}$	$\frac{0,20}{-}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{2,8}{0,8}$ 0,28	$\frac{16}{16}$	$\frac{-}{24}$	$\frac{-}{0,06}$	$\frac{3,10}{0,30}$	93
Майкопские глины	12,0	$\frac{1,52}{1,21}$	$\frac{1,59}{1,32}$	$\frac{0,56}{0,65}$	$\frac{0,24}{0,33}$	$\frac{50}{41}$	$\frac{1,1}{0,4}$ 0,36	$\frac{1,3}{1,6}$	$\frac{23}{17}$	$\frac{0,30}{0,02}$	$\frac{2,00}{0,20}$	60
Илит-хлоритовые глины												
Сыртовые глины Заволжья	5,0	$\frac{0,17}{0,25}$	$\frac{1,57}{1,56}$	$\frac{0,31}{0,31}$	$\frac{0,12}{0,12}$	$\frac{35}{30}$	$\frac{0,4}{0,3}$ 0,75	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{28}{20}$	$\frac{0,07}{0,02}$	$\frac{0,80}{0,02}$	20
Хвалынские глины Северного Прикаспия	6,0	$\frac{0,17}{0,21}$	$\frac{1,69}{1,64}$	$\frac{0,31}{0,31}$	$\frac{0,13}{0,12}$	$\frac{34}{35}$	$\frac{0,7}{0,4}$ 0,57	$\frac{1,7}{1,7}$	$\frac{30}{25}$	$\frac{0,10}{0,04}$	$\frac{0,70}{0,40}$	34
	33,5	$\frac{0,22}{0,24}$	$\frac{1,65}{1,71}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,13}{0,13}$	$\frac{33}{36}$	$\frac{1,1}{0,6}$ 0,55	$\frac{1,6}{1,5}$	$\frac{24}{17}$	$\frac{0,04}{0,02}$	$\frac{0,40}{0,20}$	30

Примечание: в числителе — значения показателей для природного образца, в знаменателе — для выщелоченного образца, справа — степень выщелоченности образца.

Таблица 2

*Изменение физико-механических свойств
засоленных неогеновых глинистых пород Центрального Предкавказья
при диффузионном выщелачивании [5]*

№ лаб. обр.	Стратиграфический горизонт	W	ε_{sw}	ρ_d , г/см ³	P_m , МПа	c , МПа	φ , град	τ_1 , МПа
14	Делювиальные четвертичные глины	0,25	0,34	1,60	0,86	0,195	10,5	0,21
		0,33	0,21	1,41	0,13	0,053	3,0	0,06
12	Нижнечетвертичные глины	0,16	0,03	1,86	0,78	0,103	25,5	0,15
		0,20	0,07	1,70	0,31	0,070	14,0	0,10
11	Армавирская свита верхнего неогена	0,19	0,02	1,82	1,24	0,067	43,5	0,18
		0,20	0,005	–	0,25	0,085	33,1	0,09
10	Армавирская свита верхнего неогена	0,21	0,02	1,71	1,01	0,127	21,8	0,17
		0,24	0,02	1,64	0,39	0,085	25,5	0,10
32	Ясеновская свита среднего сармата	0,36	0,02	1,36	0,44	0,047	35,0	0,12
		0,31	0,03	1,25	0,22	0,040	26,4	0,09
8	Среднесарматские криптомактровые глины	0,37	0,11	1,34	0,33	0,065	7,1	0,08
		0,47	0,27	1,18	0,22	0,030	2,8	0,04
30	Среднесарматские криптомактровые глины	0,49	0,09	1,16	1,08	0,085	12,6	0,11
		0,53	0,16	0,97	0,14	0,042	2,8	0,04
7	Среднесарматские криптомактровые глины	0,40	0,22	1,29	0,78	0,165	8,5	0,18
		0,48	0,23	1,17	0,17	0,035	2,7	0,04
5	Нижнесарматские глины	0,37	0,13	1,36	0,40	0,063	11,3	0,08
		0,35	0,11	1,20	0,23	0,075	2,8	0,08
27	Караганские глины нижнего неогена	0,19	0,05	1,78	1,50	0,189	17,5	0,22
		0,23	0,03	1,64	–	0,085	12,6	0,11
26	Караганские глины нижнего неогена	0,20	0,09	1,75	0,25	0,022	35,0	0,12
		0,27	0,11	1,58	0,34	0,045	14,0	0,07
24	Чокракский горизонт нижнего неогена	0,32	0,66	1,47	0,95	0,025	5,7	0,06
		0,55	0,85	0,83	0,08	–	2,2	0,03
21	Майкопская серия нижнего неогена	0,22	0,06	1,69	1,96	0,023	11,4	0,18
		0,24	0,10	1,58	0,71	0,055	16,7	0,09
20	Майкопская серия нижнего неогена	0,25	0,07	1,62	0,95	0,081	14,7	0,11
		0,31	0,37	1,28	0,26	0,070	2,8	0,08

Примечание: см. табл. 1.

Т а б л и ц а 3

*Количественные изменения состава и свойств
 незасоленных и засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании [3]*

Показатели состава и свойств	Незасоленные сарматские глины		Неогеновые морские засоленные глины [4, 7]	Четвертичные полигенетические засоленные глинистые породы [4, 7]
	не содержащие пирит	содержащие пирит		
Содержание дисперсной (менее 0,005 мм фракции), % (микроагрегатный анализ)	$\frac{30,8}{46,4}$ (20)	$\frac{36,1}{35,2}$ (10)	$\frac{70,0}{72,5}$	$\frac{24,1}{24,5}$ (7)
Коэффициент агрегированности дисперсной (менее 0,005 мм) фракции	$\frac{1,97}{1,32}$ (20)	$\frac{1,93}{1,95}$ (10)	$\frac{1,10}{1,05}$	$\frac{7,40}{5,00}$ (7)
Содержание водорастворимых солей, %	$\frac{0,17}{0,13}$ (20)	$\frac{0,19}{0,11}$ (10)	$\frac{0,68}{0,21}$ (12)	$\frac{1,56}{0,60}$ (9)
Степень выщелоченности на конец опыта (средняя)	0,43(20)	0,38(10)	0,41(11)	0,46(9)
Содержание гипса, %	$\frac{0,15}{0,10}$ (20)	$\frac{0,13}{0,41}$ (10)	$\frac{0,12}{0,22}$ (10)	$\frac{5,22}{3,08}$ (6)
Содержание карбонатов, %	$\frac{9,54}{8,47}$ (20)	$\frac{14,11}{15,60}$ (10)	—	$\frac{4,00}{2,68}$ (4)
Влажность	$\frac{0,23}{0,44}$ (20)	$\frac{0,31}{0,52}$ (10)	$\frac{0,31}{0,29}$ (12)	$\frac{0,20}{0,30}$ (8)
Плотность «сухого» грунта, г/см ³	$\frac{1,67}{1,26}$ (20)	$\frac{1,50}{1,11}$ (10)	$\frac{1,51}{1,30}$ (11)	$\frac{1,61}{1,48}$ (8)
Угол внутреннего трения, град	$\frac{16,6}{15,0}$ (20)	$\frac{13,0}{12,7}$ (10)	$\frac{19}{12}$ (13)	$\frac{22}{14}$ (8)
Удельное сцепление, МПа	$\frac{1,32}{0,39}$ (20)	$\frac{1,08}{0,47}$ (10)	$\frac{0,10}{0,06}$ (11)	$\frac{0,14}{0,03}$ (8)

Примечание: в числителе — значение до выщелачивания, в знаменателе — после выщелачивания, в скобках — количество определений.

Морские незасоленные глины сармата с пластифицировано-коагуляционным типом структурных связей, содержащие пирит, при выщелачивании практически не изменяют содержания дисперсной фракции. Оно может незначительно повышаться или понижаться. Так же ведут себя все засоленные глинистые породы. Соответственно и коэффициент агрегированности

может колебаться незначительно в обе стороны. Характерно, что это никак не связано с содержанием в породе гипса, — его количество может или повышаться при выщелачивании, или понижаться.

Содержание водорастворимых солей

При выщелачивании всех без исключения глинистых пород засоленность их уменьшается. Минимальное по абсолютной величине снижение содержания солей имеет место для незасоленных сарматских глин, не содержащих пирит, — в среднем на 20 % от исходного на конец испытаний, что соответствует степени выщелоченности в среднем 0,43. Максимальное снижение содержания солей в 2,5...3,0 раза имеет место для засоленных глинистых пород, однако степень выщелоченности их на конец опыта не превышает в среднем 0,46.

Содержание гипса

Количество гипса в морских глинистых породах обусловлено: первичного — наличием его в морской воде при седиментации, вторичного — окислением пирита при выветривании (выщелачивании) глин в постгенетическую стадию. До выщелачивания неогеновых морских глин содержание гипса во всех 3 группах пород было примерно одинаковое — 0,12...0,15 %. В выщелоченных образцах содержание гипса примерно на одну треть уменьшилось только у сарматских незасоленных глин, не содержащих пирита. У других двух групп его содержание увеличилось в 2...3 раза за счет образования и накопления в породе вторичного гипса. При выщелачивании засоленных четвертичных глинистых пород, содержащих в основном вторичный гипс, образовавшийся при континентальном засолении, его содержание уменьшилось в среднем на 45 %.

Содержание карбонатов

Изменение содержания карбонатов при выщелачивании глинистых пород подчиняется зависимости, выявленной для гипса, — у образцов, не содержащих в исходном состоянии пирита, их количество уменьшается: для незасоленных сарматских глин на 10...20 %, для четвертичных глинистых пород — в 1,5...2,0 раза. У образцов, имеющих включения пирита, количество карбонатов при выщелачивании увеличивается на 10...30 %.

Влажность

Максимальное увеличение влажности в 1,5...2,0 раза имеет место для сарматских незасоленных глин и засоленных четвертичных глинистых пород. Для неогеновых засоленных глин этот показатель при выщелачивании изменяется незначительно в обе стороны.

Плотность сухого грунта

При выщелачивании всех глин показатель уменьшается на 10...30 %, что является следствием их разуплотнения и набухания. В наибольшей степени разуплотняются незасоленные сарматские глины, содержащие пирит (до $\rho_d = 1,40...1,50$ г/см³).

Прочность

Значения показателей прочности глинистых пород различной степени засоления даны в табл. 3. В целом прочность всех изученных типов глинистых пород при выщелачивании уменьшается: по углу внутреннего трения — от незначительного до двукратного; по удельному сцеплению — в 1,5...5,0 раз.

Для оценки степени влияния обводнения на прочностные характеристики глинистых пород А. М. Монюшко предложено использовать понятие «коэффициент устойчивости к обводнению» как отношение значения показателя прочности выщелоченного образца к показателю прочности образца природной влажности [6, 7]. В таблице 4 представлены выявленные закономерности изменения состава и свойств глинистых пород различного возраста, генезиса и степени засоления. Анализ средних значений показателей убедительно свидетельствует, что сарматские незасоленные глины, содержащие пирит, более устойчивые к обводнению, т. к. значения всех показателей прочности у них больше, чем у глин, не содержащих пирита [8—11].

Данный факт вполне объясним, т. к. прочность глинистых пород при прочих равных условиях (влажности и плотности) в значительной степени зависит от характера структурных связей между грунтовыми частицами и степени агрегированности грунта. У образцов глин, не содержащих пирит, при выщелачивании происходит диспергация грунта и уменьшение его коэффициента агрегированности. А у образцов глин, содержащих в своем составе пирит, при выщелачивании образуются новые химические соединения: гипс, аморфный кремнезем, окислы железа и др., способствующие агрегации грунтовых частиц [12—14].

В таблице 5 приведены значения коэффициентов устойчивости к обводнению глинистых пород различной степени засоления по результатам собственных исследований и по опубликованным данным. Наиболее устойчивыми к обводнению по показателю K_c являются засоленные сильно агрегированные неогеновые глины Центрального Предкавказья, K_c в среднем составляет 0,69. Наименее устойчивыми являются слабоагрегированные засоленные майкопские глины, K_c составляет 0,07. По углу внутреннего трения картина несколько другая, этот показатель в значительной степени зависит от содержания в грунте песчаной фракции и степени агрегированности дисперсной фракции. Наиболее устойчивые — засоленные хвалынские глины Северного Прикаспия $K_\phi = 0,75$, наименее устойчивые — засоленные сарматские глины Центрального Предкавказья $K_\phi = 0,29$. По показателю K_{pm} наиболее устойчивы засоленные хвалынские глины $K_{pm} = 0,53$, наименее устойчивы сырцовые засоленные глины Заволжья $K_{pm} = 0,03$ [15—17].

Выводы

Коэффициенты устойчивости глинистых пород к обводнению K_c и K_ϕ являются важнейшими прогнозными характеристиками, позволяющими прогнозировать изменение прочности при выщелачивании. Так как непосредственное определение этих коэффициентов сопряжено с выполнением дорогостоящих продолжительных лабораторных экспериментов, проанализирована корреляционная зависимость указанных коэффициентов от показателей физических свойств глин, ионно-солевого комплекса и набухаемости. Наибольшие значения коэффициентов корреляции зафиксированы у показателей устойчивости (K_c и K_ϕ) с пористостью n , величиной свободного набухания ε_{sw} и содержанием в породе обменного Na^+ . Точечные графики и регрессионные зависимости приведены на рис. 1. Следует отметить, что наибольшие значения коэффициентов корреляции у графика функции $K_c = f(\lg \varepsilon_{sw})$, что хорошо согласуется с данными других авторов [17].

Основные особенности изменения состава и свойств глинистых пород различного возраста, генезиса и степени засоления при диффузионном выщелачивании

Показатели состава и свойств	Незасоленные сарматские глины		Неогеновые морские засоленные глины	Четвертичные полигенетические засоленные глинистые породы
	не содержащие пирит	содержащие пирит		
Содержание дисперсной (менее 0,005 мм фракции), % (микроагрегатный анализ)	Увеличивается в среднем в 1,5 раза	Незначительно изменяется в обе стороны	Незначительно увеличивается	Незначительно увеличивается
Коэффициент агрегированности дисперсной (менее 0,005 мм) фракции	Значительно уменьшается, достигая значения $K = 1,3 \dots 1,4$	Незначительно изменяется в обе стороны оставаясь на уровне $K = 2$	Незначительно уменьшается, достигая минимума $K = 1,05$	Значительно уменьшается, достигая значения $K = 4,0 \dots 6,0$
Содержание водорастворимых солей, %	Уменьшается в среднем на 20 %	Уменьшается в среднем на 40 %	Уменьшается в среднем в 3 раза	Уменьшается в среднем в 2,5 раза
Степень выщелоченности на конец опыта (средняя)	Более 0,40	Менее 0,40	Более 0,40	Более 0,40
Содержание гипса, %	Уменьшается в среднем в 1,5 раза	Увеличивается в несколько раз	Увеличивается в среднем в 2,0 раза	Уменьшается в среднем в 1,5 раза
Содержание карбонатов, %	Уменьшается на 10...20 %	Увеличивается на 10...30 %	Увеличивается на 20...30 %	Уменьшается в 1,5...2,0 раза
Влажность	Увеличивается в 1,5...2,0 раза	Увеличивается в 1,2...1,5 раза	Незначительно изменяется в обе стороны	Увеличивается в среднем в 1,5 раза
Плотность «сухого» грунта, г/см ³	Уменьшается на 10...20 % до значений $\rho_d = 1,20 \dots 1,30$	Уменьшается на 20...30 % до значений $\rho_d = 1,05 \dots 1,25$	Уменьшается в среднем на 25 % до значений $\rho_d = 1,20 \dots 1,40$	Уменьшается в среднем на 10 % до значений $\rho_d = 1,40 \dots 1,50$
Угол внутреннего трения, град	Уменьшается на 1...2°	Уменьшается незначительно	Уменьшается в среднем в 1,5 раза	Уменьшается в 1,5...2,0 раза
Удельное сцепление, МПа	Уменьшается в 4...5 раз	Уменьшается в 2...3 раза	Уменьшается в 1,5...2 раза	Уменьшается в 4...5 раз

Таблица 5

Коэффициенты устойчивости к обводнению глинистых пород различной степени засоления

Глинистые породы и степень их засоления	Автор	Коэффициенты устойчивости		
		K_c	K_ϕ	K_{pm}
Незасоленные сарматские глины, не содержащие пирит	Ю. И. Олянский	0,32 (15)	0,61 (9)	0,05 (5)
Незасоленные сарматские глины, содержащие пирит	Ю. И. Олянский	0,51 (9)	0,74 (8)	0,09 (7)
Засоленные сарматские глины Центрального Предкавказья	С. И. Пахомов А. М. Монюшко	0,38 (3)	0,29 (4)	0,40 (4)
Четвертичные засоленные глины Центрального Предкавказья	Н. П. Затенацкая	0,12 (3)	0,46 (3)	0,04 (4)
Сыртовые засоленные глины Заволжья	Н. П. Затенацкая	0,30 (1)	0,71 (1)	0,03 (1)
Засоленные хвалынские глины Северного Прикаспия	Н. П. Затенацкая	0,45 (2)	0,75 (2)	0,53 (2)
Засоленные неогеновые глины Центрального Предкавказья	С. И. Пахомов А. М. Монюшко	0,69 (4)	0,52 (6)	0,34 (5)
Засоленные неогеновые майкопские глины	Н. П. Затенацкая	0,07 (1)	0,71 (1)	0,10 (1)
Засоленные неогеновые глины Центрального Предкавказья	С. И. Пахомов А. М. Монюшко	0,69 (4)	0,52 (6)	0,34 (5)
Незасоленные сармат-меотические глины междуречья Прут — Днестр I—III типа по устойчивости к обводнению	I II III Ю. И. Олянский	0,22 (21)	0,55 (21)	0,05 (15)
		0,31 (39)	0,67 (39)	0,06 (21)
		0,44 (31)	0,88 (31)	0,08 (22)
		0,33 (91)	0,71 (91)	0,06 (58)

Примечание: первые значения — средние, в скобках — количество определений.

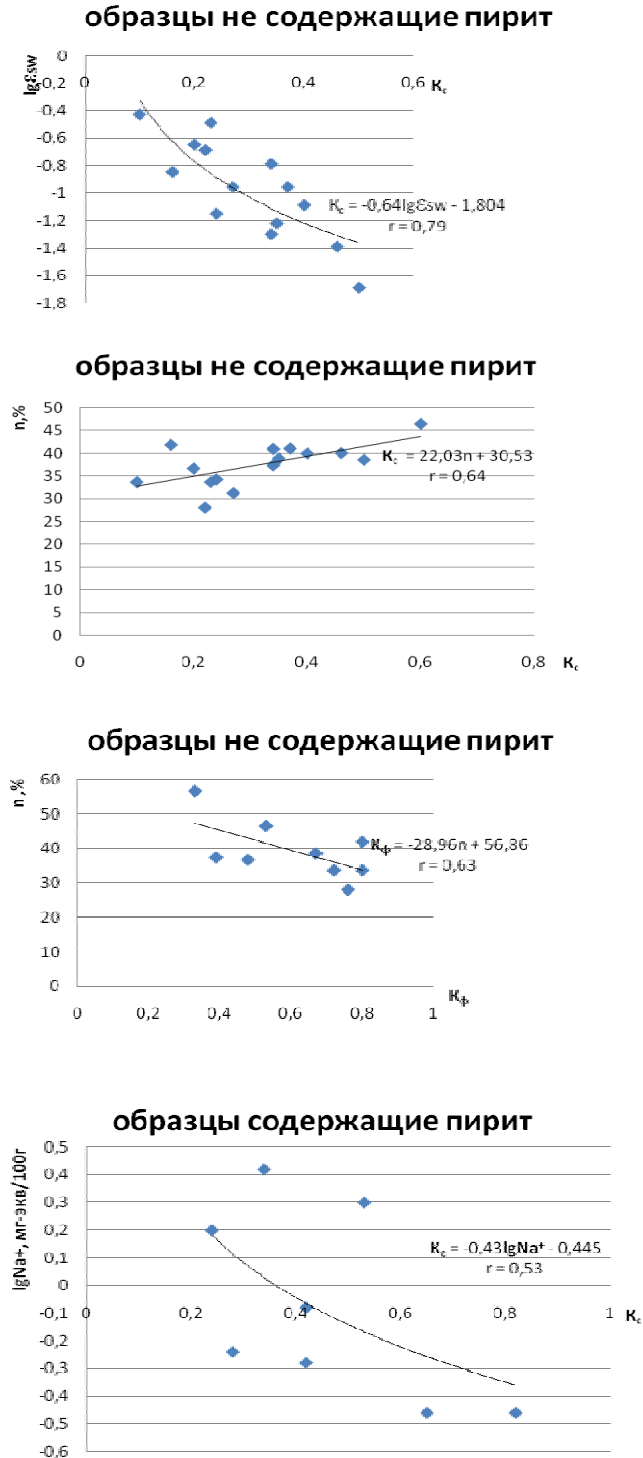


Рис. 1. Графики зависимости коэффициентов устойчивости сарматских глин к обводнению K_c и K_{ϕ} от показателей состава и свойств n , ϵ_{sw} , Na^+

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и строительстве гидротехнических и других инженерных сооружений, возводимых на набухающих глинистых грунтах южной части Русской плиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Олянский Ю. И., Богомолов А. Н., Тихонова Т. М. Сарматские глины. Состав, физико-механические свойства, типизация по устойчивости к обводнению. Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2013. 230 с.
2. Богомолов А. Н., Олянский Ю. И. Инженерно-геологические аспекты взаимодействия глинистых пород с водой при техногенезе (на примере сарматских глин и лессовых пород). Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2016. 357 с.
3. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Чарыкова С. А., Онкаев В. А. Закономерности изменения состава и свойств глинистых пород при длительном взаимодействии с водой в основаниях инженерных сооружений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 7—15.
4. Затенцакая Н. П. Закономерности формирования свойств засоленных глин. М. : Наука, 1985. 145 с.
5. Пахомов С. И., Монюшко А. М. Инженерно-геологические аспекты техногенного изменения свойств глин. М. : Наука, 1988. 120 с.
6. Манюшко А. М., Пахомов С. И. Методические основы прогнозирования изменения свойств набухающих грунтов при их обводнении // Тезисы докладов на Всесоюзной конференции по инженерной геологии. Ростов н/Д, 1980. С. 45—50.
7. Монюшко А. М. Роль техногенеза в формировании инженерно-геологических свойств глин. М. : Недра, 1985. 143 с.
8. Богомолов А. Н., Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В. Прогноз прочности сарматских глин при длительном обводнении // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2018. № 2. С. 19—24.
9. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Тихонова Т. М. Оценка устойчивости сарматских глин к длительному обводнению на основе результатов лабораторных исследований // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 32—42.
10. Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A. Prediction of indexes of stability of sarmatian clays of foundations of hydrotechnical structures with long-term flooditiong // Power Technology and Engineering. 2019. Vol. 53. Iss. 1. Pp. 51—55.
11. Bogomolov A. N., Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V. Prediction of strength of sarmat clays under the conditions of long-term watering // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2018. Vol. 55. Iss. 2. Pp. 96—102.
12. Osipov V. I. Physicochemical theory of effective stress in soils // Springer Briefs in Earth Sciences. 2015. Pp. 1—55. DOI: 10.1007/978-3-319-20639-4.
13. Seismic risk assessment for the greater Sochi area / V. I. Osipov, V. I. Larionov, N. I. Frolova, A. N. Ugarov, S. V. Kozharinov, T. V. Barskaya, S. P. Sushchev // Water Resources. 2016. Vol. 43. Iss. 7. Pp. 982—997.
14. Osipov V. I. Environmental security issues associated with submerged cross-border pipelines (a case study of the blue stream gas pipeline) // Environmental Security of the European Cross-Border Energy Supply Infrastructure, 2015. Pp. 1—12. DOI: 10.1007/978-94-017-9538-8_1.
15. Olyansky Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kuzmenk I. Y. The forecast of durability indicates of the sarmatian clays underneath of engineering structures affected by technogenic floodwaters // Procedia Engineering. 2016. Pp. 2213—2217.
16. Osipov V. I. Large-scale thematic geological mapping of Moscow area // Engineering Geology for Society and Territory. 2015. Vol. 5. Pp. 11—16.
17. Olyansky Yu. I., Bogomolov A. N., Charycova S., Sachova A. Engineering-geological problems of reclamation of the southern region of Moldova // International Science youg Scholars Forum of Asia-Pacific region Countrieng. 2012. Vol. Pp. 515—518.

© Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Кузьменко Д. А., Татаркин А. В., Алванян К. А., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Основные закономерности изменения состава и свойств незасоленных и засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Д. А. Кузьменко, А. В. Татаркин, К. А. Алванян // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 27—38.

Об авторах:

Олянский Юрий Иванович — д-р геол.-минерал. наук, доц., проф. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olyansk@list.ru

Щекочихина Евгения Викторовна — канд. геол.-минерал. наук, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; karnat.1@yandex.ru

Кузьменко Денис Алексеевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Татаркин Алексей Викторович — д-р техн. наук, проф. каф. инженерной геологии и охраны недр, Пермский государственный национальный исследовательский университет. Российская Федерация, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15; vsto08@mail.ru

Алванян Карине Антоновна — канд. геол.-минерал. наук, доц. каф. инженерной экологии и охраны недр, Пермский государственный национальный исследовательский университет. Российская Федерация, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15; karinealvanyan@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-7813-4779

**Yurii I. Olyanski^a, Evgeniya V. Shchekochikhina^a, Denis A. Kuzmenko^a,
Aleksey V. Tatarkin^b, Karine A. Alvanyan^b**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Perm State University*

THE MAIN PATTERNS OF CHANGES IN THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF UNSALTED AND SALINE CLAY ROCKS DURING DIFFUSION LEACHING

The results of laboratory experiments on the leaching of clayey rocks of various genesis, age, composition and physical and mechanical properties are analyzed. The coefficients of resistance to watering of Neogene clays of various degrees of salinity were calculated. The conclusions drawn will find their application in hydrotechnical and industrial-civil construction.

Key words: diffusion leaching, Sarmatian clays, coefficient of resistance to flooding, degree of salinity of clays.

For citation:

Olyanski Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kuzmenko D. A., Tatarkin A. V., Alvanyan K. A. [The main patterns of changes in the composition and properties of unsalted and saline clay rocks during diffusion leaching]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 27—38.

About authors:

Yurii I. Olyanski — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olyansk@list.ru

Evgeniya V. Shchekochikhina — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; karnat.1@yandex.ru

Denis A. Kuzmenko — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Aleksey V. Tatarkin — Doctor of Engineering Sciences, Perm State University. 15, Bukireva st., 614068, Perm, Russian Federation; vsto08@mail.ru

Karine A. Alvanyan — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Perm State University. 15, Bukireva st., 614068, Perm, Russian Federation; karinealvanyan@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-7813-4779

УДК 692:536.2

А. Г. Перехоженцев

Волгоградский государственный технический университет

О ПОТЕНЦИАЛЕ ВЛАЖНОСТИ, НОРМИРОВАНИИ И РАСЧЕТЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ

Рассмотрена проблема поиска потенциала влажности капиллярно-пористых материалов многослойных наружных ограждений зданий и окружающего воздуха. Выявлено, что неизотермическим потенциалом влажности является парциальное давление водяных паров. Рассмотрены принципы нормирования и решения задач теплозащиты и недопущения переувлажнения ограждающих конструкций зданий в холодный период года.

Ключевые слова: потенциал влажности, коэффициенты диффузии влаги, требуемые сопротивления теплопередаче и влагопередаче, комплексный теплотехнический расчет, многослойные ограждающие конструкции.

*Академику РААСН В. Н. Богословскому
посвящается*

Введение

В холодный период года вследствие переменных климатических воздействий в капиллярно-пористых строительных материалах наружных ограждающих конструкций зданий протекают сложные тепловлажностные процессы. В зависимости от параметров внешней среды, т. е. от температуры и влажности воздуха, происходит увлажнение конструкции в результате адсорбции и капиллярной конденсации влаги в порах материалов, а при наличии градиентов температуры и парциальных давлений водяных паров происходит диффузия влаги в виде пара, капельно-пленочной влаги и в жидкой фазе.

Физико-математическое описание температурно-влажностных процессов в капиллярно-пористых материалах наружных ограждений зданий с учетом фазовых превращений, источников и стоков тепла и влаги приводит к довольно сложным системам уравнений [1]. С целью упрощения физико-математической модели в 1952 г. А. В. Лыковым [2] и В. Н. Богословским [3] по аналогии с температурой предложено ввести понятие «потенциал влажности», который представляет обобщенную характеристику влажностного состояния пористого материала.

В поисках потенциала влажности

Теоретической основой потенциала влажности, по аналогии с температурой, служит закон транзитивности теплового равновесия, суть которого заключается в следующем: если каждая из каких-либо двух систем находится в тепловом равновесии с третьей, то они состоят в тепловом равновесии друг с другом. Таким образом предлагается опытным путем по влагосодержанию некоторого эталонного тела (фильтровальной бумаги), которое находится в термодинамическом равновесии с пористым материалом, определять потенциал влажности θ по отношению влажности эталонного материала w_0 к его

максимальной гигроскопической влажности w_{s3}^{20} при температуре 20 °С, т. е.

$$\text{потенциал будет равен } \theta = \left(\frac{w_3}{w_{s3}^{20}} \right) 100.$$

Измеряется потенциал влажности в градусах влажности. При максимальной сорбционной влажности потенциал будет равен 100 °В.

Удельный поток влаги в неизотермических условиях (при постоянном внешнем давлении) по А. В. Лыкову [4] будет складываться под действием двух движущих сил: градиента потенциала изотермического влагопереноса $\nabla\theta$ и градиента температуры ∇T :

$$J_m = -\lambda_m (\nabla\theta + \delta_\theta \nabla T), \quad (1)$$

где J_m — удельный поток влаги; λ_m — коэффициент влагопроводности, отнесенный к потенциалам влажности; δ_θ — термоградиентный коэффициент.

Физико-математическую модель нестационарного тепло- и влагопереноса для неоднородной области можно представить в виде следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} c^T \gamma_o \frac{dT}{d\tau} = \text{div}(\lambda^T(\theta, T) \nabla T), \\ c^\theta \gamma_o \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda^\theta(\theta, T) \nabla \theta) + \text{div}(\lambda^\theta(\theta, T) \delta_\theta(\theta, T) \nabla T), \end{cases} \quad (2)$$

где ∇ — дифференциальный оператор; θ — изотермический потенциал влажности; c^T и c^θ — соответственно удельные теплоемкости и влагоемкости материалов; λ^T и λ^θ — коэффициенты теплопроводности и влагопроводности; δ_θ — термоградиентный коэффициент, позволяющий определить поток влаги через градиент температуры.

В дальнейшем теория потенциала влагопереноса развивалась В. Н. Богословским [5] и его учениками Е. И. Тертичником [6], В. Г. Гагариным [7], Б. В. Абрамовым [8], а также автором [9—12]. Оценкой влажностного состояния ограждающих конструкций занимались зарубежные ученые К. Kiessl [13], Н. М. Kunzel [14] и др.

Несколько иную трактовку потенциала влажности В. Н. Богословский дает в своих поздних работах [13, 14]. Уравнение удельного потока влаги он предлагает записать по аналогии с уравнением Фурье для теплового потока:

$$J_m = -\chi \nabla \theta_v, \quad (3)$$

где χ — коэффициент влагопроводности, отнесенный к потенциалу влажности; θ_v — неизотермический потенциал влажности, зависящий от температуры и влажности.

Нестационарный поток влаги в этом случае будет представлен дифференциальным уравнением, аналогичным тепловому потоку в системе (2):

$$\eta(\theta, t) \rho_0 \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \text{div}(\chi(\theta, t) \nabla \theta), \quad (4)$$

где $\eta(\theta, t)$ — удельная влагоемкость, отнесенная к потенциалу влажности.

Как справедливо отмечает В. Н. Богословский [15], потенциал влажности θ_v не нашел широкого применения из-за сложности зависимости $w_s(\theta, t)$ для фильтровальной бумаги как эталонного тела. Кроме того, следует отметить и некорректность величины w_s^{20} [16], которая является основой для определения влагоемкости эталонного тела $\eta(\theta, t)$.

Тепловлажностное состояние капиллярно-пористых материалов наружных ограждающих конструкций зданий зависит от параметров внешней среды, т. е. от температуры и влажности воздуха, с которым они находятся в термодинамическом равновесии. Как правило, увлажнение происходит в результате адсорбции и капиллярной конденсации. Наиболее опасное увлажнение происходит в холодный период года: если при неблагоприятном распределении температуры в каком-либо слое конструкции парциальное давление водяных паров e достигнет максимальных значений $e = E(t)$, то произойдет термическая конденсация влаги. Таким образом, влажностное состояние капиллярно-пористых материалов ограждающих конструкций зависит от двух внешних факторов окружающей среды: температуры и парциального давления водяных паров воздуха. При этом парциальное давление водяных паров является функцией температуры и влажности, следовательно, служит **неизотермическим потенциалом влажности $e = \theta(t, \varphi)$** .

Эта величина отвечает всем требованиям к потенциалам: движение влаги происходит от большего потенциала к меньшему, при термодинамическом равновесии на стыках двух материалов потенциалы равны.

Переход от потенциалов к влагосодержаниям производим по изотермам капиллярного испарения от максимального водонасыщения до равновесной влажности воздуха, т. е. получим функцию $\theta(w)$ во всем диапазоне увлажнения. Поток влаги будет определяться по аналогии с тепловым потоком по уравнению (3).

Для нестационарных условий диффузию влаги для одномерной задачи запишем по аналогии с уравнением теплопроводности в виде дифференциального уравнения следующим образом:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad (5)$$

где τ — время, ч; $a_m = \frac{\lambda_m}{\eta \rho}$ — коэффициент диффузии влаги, $\text{м}^2/\text{ч}$; λ_m — ко-

эффициент влагопроводности, $\text{г}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$; η — удельная влагоемкость материала, $\text{г}/(\text{кг}\cdot\text{Па})$; ρ — объемная масса материала, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Таким образом, основную роль в процессе переноса влаги играют два фактора: температура и неизотермический потенциал влажности, градиенты которых определяют интенсивность процесса. Приведенные к этим потенциалам соответствующие коэффициенты тепло- и влагопереноса характеризуют свойства проводящей среды, в нашем случае — свойства увлажняемых капиллярно-пористых материалов наружных ограждений зданий.

Подводя итог нашим рассуждениям, можно сделать вывод, что многолетние поиски неизотермического потенциала влажности завершились успешно, им оказалось парциальное давление (действительная упругость)

водяных паров, при этом «эталонным телом» является влажный воздух окружающей среды, т. е. $\theta_i(t, w) = \varphi E(t)$.

Определение коэффициентов диффузии влаги

Ошибочное представление о том, что парциальное давление действует только в пределах сорбционного увлажнения, привело к добавлению к этому потенциалу характеристик, относящихся к свойствам материалов (например, капиллярной проводимости). На самом деле парциальное давление действует от максимального значения при термической конденсации до равновесного с окружающей средой. При относительной влажности, равной 0,9999, т. е. в пределах действия капиллярных сил, потенциал будет максимальным. Кроме того, некорректно раздельное экспериментальное определение коэффициентов паропроницаемости и влагопроводности. На самом деле при положительных температурах происходит одновременная диффузия пара и жидкости в разных пропорциях в зависимости от степени увлажнения, поэтому коэффициент «паропроницаемости» является средним коэффициентом совместной диффузии влаги [17].

В работах [12, 18] представлен способ определения коэффициентов диффузии влаги в широком диапазоне увлажнения путем капиллярного испарения от полного водонасыщения до равновесной влажности с окружающей средой. Данный способ позволяет исследовать диффузию влаги в различных капиллярнопористых материалах не только в широком диапазоне увлажнения, но и при различных температурах.

Суть способа сводится к двусторонней сушке предварительно увлажненных до полного водонасыщения образцов 7×7 или 10×10 см толщиной 10...20 мм, теплоизолированных по периметру, по методике, изложенной в [19]. Процесс сушки можно разделить на 2 периода: период поверхностной сушки, когда влажность по центру образца остается постоянной и равна влажности водонасыщения, а влажность поверхностных слоев уменьшается, и период глубинной сушки, когда влажность центральной части уменьшается, а влажность поверхностного слоя остается постоянной и находится в равновесном состоянии с окружающей средой.

Зависимость между средним влагосодержанием $w_v(\tau)$ центрального слоя в сечении R_1 и влагосодержанием поверхностного слоя $w_p(\tau)$ можно определить по среднему влагосодержанию образца $w_o(\tau)$, которое определяют из опыта как разность влагосодержаний внутри образца и на его поверхности следующим образом:

$$w_o(\tau)R = w_v(\tau)R_1 - w_p(\tau)(R - R_1). \quad (6)$$

Значение влагосодержаний поверхностных слоев для периода поверхностной сушки определяют из формулы (6):

$$w_p(\tau) = \frac{w_v(\tau)R_1 - w_o(\tau)R}{R - R_1}. \quad (7)$$

Аналогично и для влагосодержаний внутреннего слоя для периода глубинной сушки:

$$w_v(t) = \frac{w_o(t)R - w_p(t)(R - R_1)}{R_1}, \quad (8)$$

где R — толщина образца; $R_1 = R/2$.

Переход от поверхностной сушки к глубинной происходит при $w_0 = \frac{(w_{\text{нас}} - w_{\text{ср}})}{2}$, при этом $w_{\text{нас}}$ — влажность при насыщенном состоянии образца; $w_{\text{ср}}$ — равновесная влажность образца, соответствующая относительной влажности окружающей среды.

Расчет коэффициентов диффузии влаги при любой относительной влажности образца производился по формуле, приведенной в работах [12, 18]:

$$a_m = \frac{dw}{dt} \left[\frac{(R^2 - R_1^2)}{6[w_v(t) - w_o(t)]} \right]. \quad (9)$$

На рисунке 1 приведены результаты исследования зависимости коэффициента диффузии влаги от влагосодержания при различных температурах.

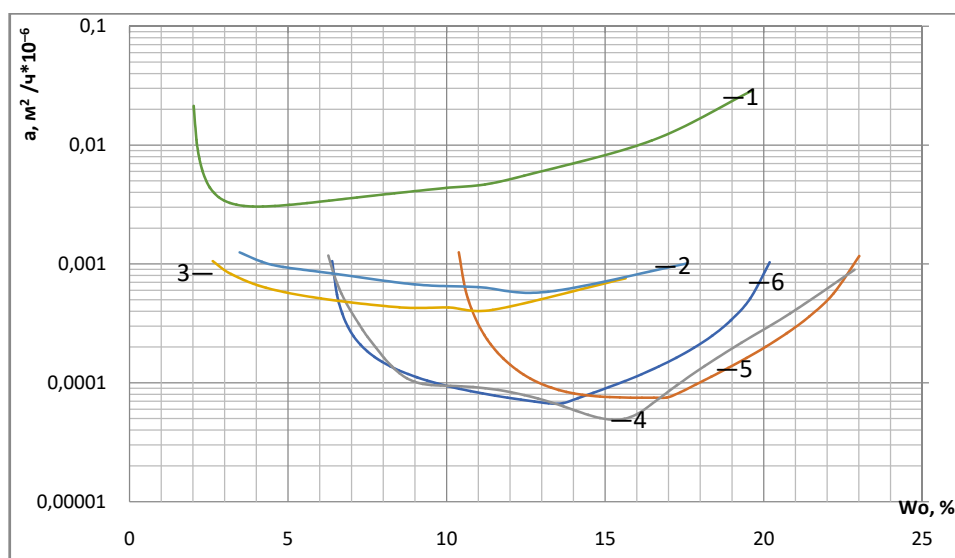


Рис. 1. Изменение коэффициента диффузии влаги в широком диапазоне увлажнения цементно-песчаного раствора при различных температурах: 1 — при +20 °С; 2 — при +7 °С; 3 — при -1 °С; 4 — при -20 °С; 5 — при -10 °С; 6 — при -5 °С

Результаты исследований при температуре +20 °С показывают, что по мере заполнения пор влагой коэффициент диффузии парообразной влаги уменьшается и далее в довольно широком диапазоне увлажнения происходит совместный перенос парообразной и капельно-пленочной влаги с постепенным ростом капиллярной диффузии влаги. При понижении температуры до +1 °С средний коэффициент диффузии уменьшился на порядок. При температурах ниже -5 °С влага в порах замерзает и коэффициент диффузии уменьшается еще на порядок, это означает, что диффузия капиллярной влаги

практически отсутствует. При еще более низких температурах происходит сублимация льда. Таким образом, при положительных температурах возможны все виды диффузии влаги от парообразной до капиллярной диффузии. В холодный период года диффузия влаги в конструкции практически отсутствует, поэтому инженерные методы расчета влажностного состояния конструкций, предполагающие стационарные условия эксплуатации, близки к реальным, что говорит о допустимости таких расчетов.

Недостаток способов определения коэффициентов паропроницания и коэффициентов влажностной проводимости заключается в том, что они определяются при температуре +20 °С, а расчеты ограждающих конструкций ведем для холодного периода года.

Нормирование и расчет тепловлажностного состояния наружных ограждений зданий

Нормирование тепловлажностного режима эксплуатации наружных ограждающих конструкций зданий должно определяться основными целевыми задачами, которые они выполняют. Так, например, основной задачей теплозащиты зданий является обеспечение теплового комфорта в помещениях. Это означает, что температура внутренней поверхности наружной ограждающей конструкции должна быть такой, чтобы в холодный период года от нее не веяло холодным «ветерком» и не выпадал конденсат в конструкции и на внутренней поверхности.

Для обеспечения теплозащиты здания сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций должно обеспечить минимальные требования гигиенистов: недопущение выпадения конденсата на внутренней поверхности конструкции¹ и подбор дополнительного сопротивления для обеспечения комфортных условий. Следовательно, требуемое сопротивление теплопередаче наружных ограждений будет равно сумме двух сопротивлений [20]:

$$R_o^{TP} = R_o^{мин} + R_o^{ЭН} = \frac{t_b - t_n}{(t_b - \tau_p) \alpha_b} + k^{ЭН} \text{ГСОП}, \quad (10)$$

где τ_p — температура точки росы (для окон $\tau_o = 3$ °С); $k^{ЭН}$ — коэффициент энергосбережения (равен коэффициенту a в табл. 3 СП 50.13330.2012²); $\text{ГСОП} = (t_b - t_{он}) z_{он}$ — градусо-сутки отопительного периода; $t_{он}$ и $z_{он}$ — соответственно температура и продолжительность отопительного периода.

Дополнительное сопротивление $R_o^{ЭН}$ является критерием, определяющим энергосбережение, т. к. ограничивает значение сопротивления теплопередаче обеспечением нормируемого перепада температуры Δt^H , т. е. теплового комфорта в помещении. Таким образом, требуемое сопротивление теплопередаче, определяемое по уравнению (10), обеспечит не только тепловой комфорт в помещении, но и энергосбережение, поскольку ограничит расход тепловой энергии.

¹ СанПиН 2.1.2.2645—10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях. М., 2016. 100 с.

² СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. М., 2018. 100 с.

Определение температуры в плоскости возможной конденсации пара и требуемого сопротивления влагопередаче при условии недопущения переувлажнения конструкции в холодный период года

Недопущение переувлажнения наружного ограждения здания обеспечивается условием равенства потока влаги, входящего в плоскость возможной конденсации влаги и выходящего из нее:

$$\frac{e_{\text{в}} - E_{\text{к}}}{R_{\text{пв}}} = \frac{E_{\text{к}} - e_{\text{н}}}{R_{\text{по}} - R_{\text{пв}}}, \quad (11)$$

где $e_{\text{в}}$ и $e_{\text{н}}$ — соответственно парциальные давления водяных паров внутри помещения и снаружи; $E_{\text{к}}$ — максимальное значение парциального давления водяного пара в плоскости конденсации; $R_{\text{пв}}$ и $R_{\text{пн}} = R_{\text{по}} - R_{\text{пв}}$ — сопротивление паропрооницанию слоев до плоскости конденсации и после нее; $R_{\text{по}}$ — сопротивление паропрооницанию всей конструкции.

Для определения максимального значения парциального давления водяного пара $E_{\text{к}}$ в плоскости возможной конденсации представим кривую максимального насыщения паров воды $E = f(t)$ в виде полинома 3-й степени следующим образом [12]:

$$E = 0,019t^3 + 1,52t^2 + 48t + 611. \quad (12)$$

Первая производная этой функции есть уравнение касательной к данной функции и представляет собой квадратное уравнение:

$$\Delta E = 0,057t^2 + 3,04t + 48. \quad (13)$$

Решение уравнения (13) имеет следующий вид:

$$t_{\text{к}} = -26,7 + \sqrt{17,5\Delta E_{\text{к}} - 131}, \quad (14)$$

где $\Delta E_{\text{к}} = \frac{(e_{\text{в}} - e_{\text{н}})}{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}$, определяемое по условиям эксплуатации здания.

Значение максимальной упругости водяных паров $E(t_{\text{к}})$ в этой плоскости определим из уравнения (12) или по таблицам значений парциальных давлений насыщенного водяного пара при различных значениях температуры [16].

Зная температуру в плоскости возможной конденсации, несложно определить сопротивления теплопередаче R_t и влагопередаче $R_{\text{пв}}$ от внутренней поверхности ограждения до плоскости возможной конденсации.

Требуемое сопротивление влагопередаче всей конструкции получим из условия ненакопления влаги (11) следующим образом:

$$R_{\text{оп}}^{\text{тп}} = R_{\text{пв}}' \left(1 + \frac{E_{\text{к}} - e_{\text{н}}}{e_{\text{в}} - E_{\text{к}}} \right), \quad (15)$$

где $E_{\text{к}}$ — максимальное парциальное давление водяных паров в плоскости возможной конденсации.

Определение теплофизических параметров слоев многослойных ограждающих конструкций, отвечающих нормативным требованиям

Для выполнения требований норм по энергосбережению наружные ограждающие конструкции, как правило, должны представлять собой многослойные системы, в которых всегда можно выделить 2 слоя, — один из них выполняет функцию теплозащиты, а другой регулирует диффузию пара в ограждении [21].

Так как определены требуемые сопротивления, то параметры многослойных ограждений можно назначать не умозрительно, а в результате решения системы двух уравнений с двумя неизвестными [21], принимая один из слоев выполняющим функцию утеплителя, а другой — функцию пароизоляции, т. е.

$$\begin{cases} R_o^{\text{тп}} = R_b + \sum R_{ik} + \frac{\delta_{\text{вт}}}{\lambda_{\text{вт}}} + \frac{\delta_{\text{ин}}}{\lambda_{\text{ин}}} + R_n, \\ R_n^{\text{тп}} = R_{\text{вп}} + \sum R_{n,ik} + \frac{\delta_{\text{вт}}}{\mu_{\text{вт}}} + \frac{\delta_{\text{ин}}}{\mu_{\text{ин}}} + R_n, \end{cases} \quad (16)$$

где R_b , R_n , $R_{\text{вп}}$, $R_{\text{ин}}$ — соответственно сопротивления тепло- и влагообмена внутренней и наружной поверхности ограждения; $\sum R_{ik}$, $\sum R_{n,ik}$ — суммы термических сопротивлений и сопротивлений паропроницанию конструктивно заданных слоев ограждения.

Параметры слоев многослойных наружных ограждающих конструкций, полученные в результате решения этих уравнений, будут отвечать как требованиям теплозащиты, так и требованиям ненакопления влаги в конструкциях в холодный период года.

Выводы

1. Установлено, что неизотермическим потенциалом влажности $\theta_i(t, w)$ является парциальное давление водяных паров $e = \phi E(t)$ как для влажной воздушной среды, так и для капиллярно-пористых материалов, находящихся в термодинамическом равновесии с воздухом, выполняющим роль «эталонного материала». Парциальное давление водяного пара влажного воздуха отвечает всем требованиям к потенциалам.

2. Результаты экспериментального определения коэффициентов диффузии влаги в широком диапазоне увлажнения при различных температурах позволяют сделать 2 важных вывода:

а) при отрицательных температурах диффузия капиллярной влаги практически отсутствует, т. е. где влага сконденсировалась, там и замерзла;

б) инженерные методы расчета влажностного состояния конструкций в холодный период года, предполагающие стационарные условия эксплуатации, близки к реальным условиям.

3. Оригинальная методика определения температуры в плоскости возможной конденсации водяного пара позволяет определить требуемое сопротивление паропроницанию при условии исключения накопления влаги в конструкциях в холодный период года.

4. Решение системы уравнений тепло- и влагопередачи позволяет определить параметры тепло- и пароизоляционных слоев конструкций, отвечающих нормативным требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукьянов В. И., Перехоженцев А. Г. Температурно-влажностное состояние неоднородных ограждающих конструкций при нестационарных условиях тепло- и массопереноса (постановка задачи для решения на ЭВМ) // Вопросы гражданского и промышленного строительства. Волгоград, 1976. С. 59—66.
2. Лыков А. В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гостехиздат, 1954. С. 98—121.
3. Богословский В. Н. Исследование температурно-влажностного режима наружных ограждений методом гидравлических аналогий : дис. ... канд. техн. наук. М., 1953.
4. Лыков А. В. Теоретические основы строительной теплофизики. Минск: Изд-во АН БССР, 1963. 520 с.
5. Богословский В. Н. О потенциале влажности // ИФЖ. 1965. Т. 8. № 2. С. 116.
6. Богословский В. Н., Тертичник Е. Н. Шкала относительного потенциала влажности и ее использование для оценки влажностного режима ограждений // Науч. тр. МИСИ. М., 1970. № 68.
7. Богословский В. Н. Потенциал влажности, теоретические основы // Вестник Отделения строительных наук РААСН. 1996. № 1. С. 12—22.
8. Богословский В. Н., Абрамов Б. В. К определению потенциала влажности наружного климата // Науч. тр. МИСИ. 1978. № 44.
9. Перехоженцев А. Г. Потенциал переноса влаги влажных капиллярно-пористых материалов // Изв. вузов. Строительство. 1992. № 2. С. 101—104.
10. Перехоженцев А. Г. Новый метод определения потенциала переноса влаги в ограждающих конструкциях зданий из капиллярно-пористых строительных материалов // Вопросы теплообмена в строительстве. Ростов на/Д : РГАИ, 1992. С. 52—59.
11. Перехоженцев А. Г. Вопросы теории и расчета влажностного состояния неоднородных участков ограждающих конструкций зданий. Волгоград : ВолгГАСА, 1997. 273 с.
12. Перехоженцев А. Г. Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград : ВолгГАСУ, 2008. 212 с.
13. Kiessl K. Kapillarer und dampfförmiger Feuchtetransport in mehrschichtigen Bauteilen. Dissertation Universität-Gesamthochschule Essen, 1983.
14. Künzel H. M. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components: One-and two-dimensional calculation using simple parametrs. Dissertation, Universitet Stuttgart, 1995.
15. Богословский В. Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий. М. : МГСУ, 2013. 112 с.
16. Фокин К. Ф., Табуничиков Ю. А., Гагарин В. Г. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
17. Diffusion of moisture into building materials: A model for moisture transport / E. Litavcova, A. Korjenic, S. Korjenic, M. Pavlus, I. Sarhadov, J. Seman, T. Bednar // Energy and Buildings. 2014. Vol. 68. Pp. 558—561.
18. Перехоженцев А. Г., Груздо И. Ю. Исследование диффузии влаги в пористых строительных материалах // Вестник ВолгГАСУ. Серия : Строительство и архитектура. 2014. Вып. 35(54). С. 116—120.
19. Перехоженцев А. Г. Способ определения пористости материала. Патент на изобретение RU 2650427 C1, 13.04.2018. ВолгГТУ. 2017.
20. Перехоженцев А. Г. Нормирование сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий по условию теплового комфорта в помещении // Вестник МГСУ. 2016. № 2. С.173—185.
21. Перехоженцев А. Г. Метод расчета многослойных ограждающих конструкций зданий на тепло- и пароизоляцию // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 9(997). С. 46—49.

© Перехоженцев А. Г., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Перехоженцев А. Г. О потенциале влажности, нормировании и расчете тепловлажностных характеристик наружных ограждений зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 39—48.

Об авторе:

Перехоженцев Анатолий Георгиевич — д-р техн. наук, проф. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; pag41@mail.ru

Anatoly G. Perekhozhetscev

Volgograd State Technical University

ON THE POTENTIAL OF HUMIDITY, RATIONING AND CALCULATION OF HEAT AND HUMIDITY CHARACTERISTICS OF EXTERNAL FENCES OF BUILDINGS

The problem of finding the moisture potential of capillary-porous materials of multilayer exterior fences of buildings and ambient air is considered. It is revealed that the non-isothermal potentials of humidity are the partial pressure of water vapor. On this basis, the principles of rationing and solving problems of thermal protection and preventing waterlogging of building envelopes in the cold period of the year are considered.

Key words: moisture potential, moisture diffusion coefficients, required resistance to heat transfer and moisture transfer, complex heat engineering calculation, multilayer enclosing structures.

For citation:

Perekhozhentsev A. G. [On the potential of humidity, rationing and calculation of heat and humidity characteristics of external fences of buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 39—48.

About author:

Anatoly G. Perekhozhentsev — Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; pag41@mail.ru

УДК 625.8

А. С. Александров, Н. П. Александрова, Д. Ю. Раскошный

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ КОЛЕИ ИЗНОСА НА АСФАЛЬТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ В ПРЕДЕЛАХ УЧАСТКОВ ТОРМОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Выполнен анализ условий формирования колеи износа, образующихся на поверхности асфальтобетонных покрытий на скоростных участках движения и на участках торможения транспортных средств. Установлено, что наиболее опасными участками для формирования колеи износа являются участки торможения, что объясняется превышением трением скольжения трения качения. Предложен способ расчета глубины колеи износа для ее прогнозирования в процессе эксплуатации покрытия. Сформулированы основные методы борьбы с колесобразованием, вызванным износом асфальтобетонного покрытия.

К л ю ч е в ы е с л о в а: глубина колеи, колея износа, шипованная шина.

Введение

Колеи, формирующиеся на поверхности асфальтобетонных покрытий, являются предметом исследования специалистов во всем мире, пытающихся определить причины их появления и ищущих пути модификации асфальтобетонных для борьбы с этой проблемой [1—8].

Причина формирования колеи на асфальтобетонном покрытии кроется в комбинированном влиянии транспортных нагрузок и погодных-климатических факторов, которые приводят к износу покрытия, возникновению остаточных деформаций в конструктивных слоях дорожной одежды и земляном полотне. Эти деформации и разрушения приводят к формированию колеи так называемого комбинированного типа, в котором проявляется совместное влияние всех трех видов колесобразования, возникающих на асфальтобетонном покрытии. К этим типам колеи относятся: структурная колеиность, износ асфальтобетона в пределах полос наката, а также колея, обусловленная деформациями сдвига в материалах покрытий, оснований и земляном полотне. При определенном стечении факторов один из этих трех типов колеи может стать основным. В этом случае глубина колеи определенного типа может составлять до 90 % колеи комбинированного типа.

Структурная колеиность обусловлена накоплением остаточных деформаций в материалах конструктивных слоев дорожной одежды и грунтах рабочего слоя земляного полотна. При таком типе деформирования изменяется структура слоя, что проявляется в уменьшении пористости материалов и грунтов, а также измельчении щебеночных материалов. Вклад структурных деформаций щебеночных оснований и покрытий с учетом переупаковки зерен каменного материала при их измельчении оценивался в работах российских [9, 10] и зарубежных специалистов [11, 12]. В [11, 12] структурные деформации щебеночных материалов считаются неизбежными, но не приводящими к образованию глубоких колеи, вследствие чего колея, обусловленная разрушением зерен материала щебеночного слоя, считается неопасной. Такую колею относят к нулевой фазе колесобразования. Вместе с тем опасной

считается колея, образование которой вызвано деформациями сдвига либо в грунте земляного полотна, либо в щебеночном слое дорожной одежды [11, 12]. Подход российских специалистов несколько отличен, что связано с тем, что дорожная конструкция должна работать преимущественно в упругой стадии, поэтому структурные деформации щебня необходимо исследовать и своевременно нейтрализовать [9, 10], например применением технологий холодной регенерации. Процессы, связанные с уплотнением материалов и грунтов в процессе эксплуатации дороги, обнаруживались многими специалистами, в т. ч. и авторами. В [13] установлено, что по прошествии 2 лет эксплуатации коэффициенты уплотнения верхнего и нижнего слоев асфальтобетонного покрытия по ул. Интернациональной в г. Омске увеличились от 0,99 до 1,01 и с 0,98 до 1,00 соответственно. Тем не менее уплотнение асфальтобетона внесло незначительный вклад в глубину колеи на поверхности покрытия. Учитывая, что структурные изменения материалов слоев дорожной одежды приводят к образованию сравнительно малых остаточных деформаций и колеи, мы склонны отнести этот тип колеи к наименее опасным, но его непременно нужно учитывать при расчете глубин колеи комбинированного типа.

При увеличении температуры асфальтобетона его способность работать на изгиб уменьшается, а при достижении критических значений температуры в асфальтобетонном слое возникают деформации сдвига. В этом случае образуется достаточно глубокая поверхностная колея, как правило, сопровождаемая боковыми выпорами, в которых толщина асфальтобетона больше, чем в межколонном пространстве, и существенно больше, чем на дне колеи [13]. Проблема такого колееобразования характерна для южных регионов нашей страны. Специалисты БГИТУ [14, 15] и ДГТУ [16, 17] разрабатывают модифицированные битумы и составы асфальтобетонной смеси повышенной сопротивляемости сдвигу.

Деформации сдвига могут возникать в слоях, подстилающих асфальтобетонные покрытия и основания. В среде специалистов дорожной отрасли бытует мнение, что деформации сдвига в слоях из зернистых материалов и грунтах земляного полотна являются следствием плохого качества строительства. Авторы считают, что такая трактовка неверна. Причина деформаций сдвига в слоях из зернистых материалов и грунтах земляного полотна лежит в неверном подходе нормативных документов к расчету нежестких дорожных одежд. При расчете по критерию упругого прогиба во всех российских решениях, за исключением решения Н. Н. Иванова¹, лежит дифференциальное уравнение изгиба тонкой плиты (пластинки), согласно которому верхний слой двухслойной системы изгибается. Вследствие того, что общий модуль упругости двухслойной системы вычисляется по одной и той же номограмме, описывающей результаты расчета по одной и той же формуле, мы, оказавшись заложниками нормативных методов расчета, распространяем допущение об изгибе верхнего слоя двухслойной системы как на монолитные слои, так и слои из зернистых и сыпучих материалов. Эта главная ошибка, ее суть в том, что мы наделяем способностью работать на изгиб материалы,

¹ ВСН 46—60. Инструкция по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа.
URL: https://standartgost.ru/g/%D0%92%D0%A1%D0%9D_46-60.

испытывающие трехосное сжатие, вид которого зависит от траектории главных напряжений, а эта траектория изменяется при приближении колеса к рассматриваемой нами точке или при удалении нагрузки от нее. Поэтому каждая точка по мере приближения колеса переживает ряд характерных сложных напряженно-деформированных состояний: трехосное расширение, прямой срез и трехосное сжатие. При любом из этих состояний главные напряжения всегда сжимающие, а вертикальные и горизонтальные деформации меняют знак по мере приближения или удаления нагрузки от рассматриваемой точки. Это широко известный факт, он опубликован как зарубежными специалистами [18—20], так и российскими учеными [21, 22]. Это допущение приводит к тому, что напряжение сдвига в грунте земляного полотна, рассчитанное по нормативным методам, отличается от результатов расчета по формулам, предполагающим трехосное сжатие. Отметим, что переход на расчет дорожной одежды по схеме многослойной среды эту проблему не решит. В основе точных решений, позволяющих рассчитывать толщины слоев многослойной среды, лежит все то же уравнение изгиба. Решение для многослойной среды позволяет избежать неточностей решения двухслойной системы, но не более того.

Специалисты ВолгГАСУ в [23] показали, что напряжения, возникающие в слоях дорожной одежды, зависят от механических свойств подстилающего полупространства. В этом случае нужно тщательно и с требуемой надежностью определять параметры механических свойств грунтов [24] и дорожно-строительных материалов [25]. Выполнение требований, показанных в [23—25], позволит исключить деформации сдвига в слоях из зернистых материалов и грунтах земляного полотна, но не позволит полностью исключить образование остаточных деформаций, для исследования которых применяют специальные методики [26].

Третьим типом образования колеи являются колеи износа, их возникновение обусловлено истиранием асфальтобетона шипованными шинами. В настоящее время в РФ наблюдается тенденция увеличения количества легковых автомобилей, которая в сочетании с достаточно большой продолжительностью холодного года на большей территории страны привела к существенному увеличению износа асфальтобетонных покрытий. В этой связи начались исследования российских специалистов [27—29], в которых изучались колеи износа, формирующиеся на участках с различными условиями движения. За рубежом исследования износа дорожных покрытия шипованными шинами легковых автомобилей проводятся давно. Среди таких исследований отметим работы, целью которых являлось определение влияния режима движения автомобиля (нормальное качение колеса с одинаковой скоростью, торможение в режиме блокировки колеса и без нее, старт с места) на износ цементобетонных и асфальтобетонных покрытий [30]. Результаты [30] позволяют утверждать, что наиболее интенсивное истирание цементобетона и асфальтобетона, вызванное шипованными шинами, следует ожидать в местах частых остановок и стартов или там, где происходят частые поворотные движения. Результаты наблюдений за участками дорог с наиболее вероятным появлением колеи износа, представленные И. А. Челушкиным [29], полностью соответствуют выводами экспериментальной работы J. E. Burke и L. J. McKenzie [30]. Авторы [30] выполнили измерения глубины колеи

и привели иллюстрации визуального контроля состояния изнашиваемых цементобетонных и асфальтобетонных поверхностей после конкретного числа воздействий от того или иного режима движения автомобиля марки Chevrolet с шипованными шинами. Аналогичные результаты получены в наших работах, они проводятся ниже в соответствующих исследовательских разделах.

Вторым важным фактором прогнозирования развития колеи износа является число воздействий шипованной шины, для прогнозирования которого разрабатываются специальные расчетные формулы, учитывающие особенности движения по характерным для износа покрытия участкам [31]. Прогнозируемое количество воздействий шипованных шин необходимо для расчета глубины колеи износа, выполняемого по эмпирическим математическим моделям или экспериментальным графикам [31—33]. В настоящее время эмпирический метод прогнозирования глубины колеи износа является основным вследствие того, что решение контактных задач о влиянии трения на износ поверхностей требует большого объема входных данных и правильного выбора физической модели [31—33]. Например, из работ И. В. Крагельского [34, 35] известно, что внедрение индентора в шероховатую поверхность нужно описывать определенной физической моделью, которую необходимо либо правильно выбрать из известных расчетных схем, либо разработать новую расчетную схему. Для специалистов-практиков это представляет определенные затруднения, вследствие чего ведется поиск эмпирических формул, хорошо описывающие экспериментальные данные.

В настоящей работе авторы ставят цель поиска общего механико-эмпирического метода расчета глубины износа, предполагающего наследственный характер прогрессирующего развития этого негативного явления.

Методы и материалы

Первые математические модели прогнозирования износа дорожного покрытия и глубины колеи разрабатывали на основе лабораторных и натурных стендовых испытаний конструкций. Результаты таких испытаний и применяемое оборудование приведены на рис. 1.

Благодаря результатам испытаний (см. рис. 1, *a*) удалось установить, что процесс износа асфальтобетонных и цементобетонных покрытий делится на 2 стадии. В течение первой стадии происходит ускоренный износ верхней части слоя, величина которого для цементобетонного покрытия составляет 0,1" (2,54 мм), а для асфальтобетонного покрытия 0,2" (5,08 мм). В дальнейшем во взаимодействие шипов и покрытия вовлекается крупный заполнитель и интенсивность износа уменьшается, но материал покрытия оказывает существенное влияние на интенсивность износа. Это привело к появлению первых эмпирических зависимостей, связывающих величину износа [36—38] или глубину колеи [31] с числом проходов шипованных шин. В настоящее время известны линейные эмпирические формулы для прогнозирования глубины колеи износа [31]. Из анализа рис. 1, *б* можно предположить, что дальнейшее экспериментальное исследование процесса образования и развития колеи приведет к появлению нелинейных моделей для прогнозирования глубины колеи, например логарифмических и степенных функций.

В рамках таких решений авторы предлагают рассмотреть подход, основанный на интегрировании приращения глубины колеи, обусловленной износом, по числу проходов шипованных шин. Этот подход обладает определенной

универсальностью. Ранее авторы применяли это решение для расчета остаточной деформации, накапливаемой грунтами и зернистыми материалами [39], а также для прогнозирования процесса накопления повреждений в асфальтобетонном покрытии [40]. Суть метода, предложенного в [39, 40], состоит в том, что рассматриваемый процесс накопления деформации или повреждения имеет наследственный характер. Наследственность проявляется в том, что величина рассчитываемой характеристики определяется всей историей приложения нагрузок. Накопленный дефект, например глубина колеи износа S_n , возникающая в результате n -го воздействия шипованной шины, связана с деформацией от первого воздействия S_1 и описывается формулой:

$$S_n = S_1 a n^b, \quad (1)$$

где a и b — параметры износа покрытия, зависящие от вида материала и условий движения на участке.

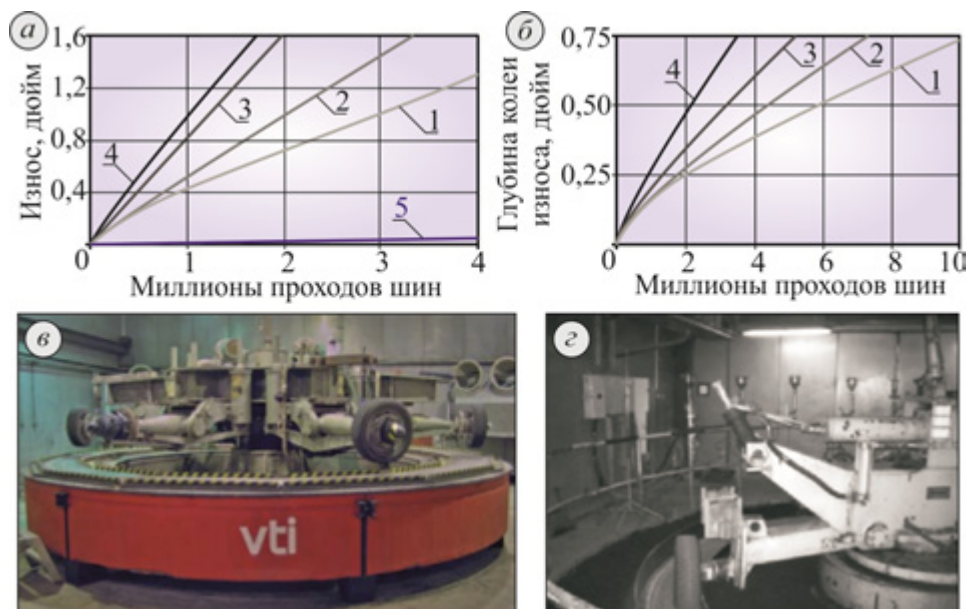


Рис. 1. Результаты исследования процессов износа дорожных покрытий и лабораторные стенды, имитирующие проезды легковых автомобилей: a — результаты лабораторного определения износа образцов [32]; b — прогноз глубины колеи износа [32]; v, z — лабораторные стенды [36, 37]; 1, 2 — цементобетон на щебне из изверженных и осадочных пород при действии шипованной шины; 3, 4 — соответственно асфальтобетон на модифицированном и обычном битумах при действии шипованной шины; 5 — цементобетон на щебне из изверженных пород под действием нешипованной шины

Используя зависимость (1), можно вычислить глубину колеи износа, накопленную в результате N -го количества воздействий шипованных шин. Для этого к деформации от первого воздействия S_1 необходимо прибавить все приращения глубины колеи от n -х воздействий. Таким образом получим сумму глубин колеи S_1 и ее приращений от воздействий с порядковым номером n_i , в которой номер последнего воздействия совпадает с общим числом воздействий шипованной шины N . При таком подходе имеем:

$$S_N = S_1 + \sum_{i=1}^N S_1 a n_i^b = S_1 \left(1 + \sum_{i=1}^N a n_i^b \right). \quad (2)$$

Полагая, что функция числа воздействий шипованных шин подобна функции времени, ее можно считать непрерывной. Это допущение позволяет от суммирования, примененного в (2), перейти к интегрированию, представив весь процесс выражением:

$$S_N = S_1 \left(1 + a \int_{i=1}^N n_i^b dn \right). \quad (3)$$

Интегральное уравнение (3) содержит параметры материала a и b , величина которых определяется видом материала покрытия и характером движения автомобилей, снабженных шипованными шинами. То есть для разных асфальтобетонных покрытий, применяемых на одинаковых по характеру движения участках дороги, значения этих параметров разные. Так же параметры a и b имеют различные значения в случае применения одного и того же асфальтобетона на участках с разным характером движения. Например, в пределах участка торможения шипованных шин величина этих коэффициентов будет отличаться от их значения на участке с обычным режимом движения.

Определение значений этих параметров выполнено экспериментально посредством учета интенсивности движения по камерам видеонаблюдения в г. Омске и периодических обследований колеи на выбранных участках. Иллюстрация учета интенсивности движения при исследовании процесса развития колеи показана на рис. 2. Эта иллюстрация датирована 25.04.2023, т. е. третьей декадой апреля, в течение которой автомобилисты Омска заканчивают переход с зимних шипованных шин на летнюю нешипованную резину.



Рис. 2. Схема учета интенсивности движения на характерных участках образования колеи износа, расположенных на пересечении улиц Красный путь и Кемеровская в Омске: 1 — участок поворота автомобилей по кривой малого радиуса; 2 — участки торможения вплоть до полной остановки автомобиля с последующим стартом с места и набором скорости до 20 км/ч; 3 — участок разгона от 20 до 60 (80) км/ч

На рисунке 2 показаны 3 характерных участка условий движения автомобилей на шипованных шинах, оказывающих влияние на процесс образования колеи износа.

На участке 1 происходит поворот автомобилей по кривой малого радиуса. Для этого участка характерно движение транспорта с малыми скоростями по кривой. В этом случае трение качения возрастает по мере уменьшения скорости движения, а в пределах кривой к возросшей продольной горизонтальной нагрузке добавляется существенная поперечная горизонтальная сила. Исследования по измерению глубины колеи в пределах крайних правых полос движения показали, что глубина колеи на повороте всегда больше, чем глубина этой же колеи перед поворотом (участок торможения) и после поворота (участок разгона). Это соотношение глубин колеи на повороте и на участке торможения имеет место даже в тех случаях, когда часть транспорта поворачивает направо (70...80 %), а оставшаяся часть (20...30 %) выполняет движение в прямом направлении. Следовательно, участки поворота по кривой малого радиуса являются наиболее опасными для образования колеи износа. К подобному выводу пришел и автор [29], выполнив исследования на дорогах г. Самары, подкрепив результаты фотоснимками колеи износа. На некоторых фотоснимках в [29] запечатлено начало формирования колеи износа на кольцевом пересечении улиц Победы и Гагарина, согласно которому колея имеет место на кривой и исчезает по окончании криволинейного участка.

Часть дороги под номером 2 объединяет участок торможения шипованной шины с последующим стартом с места с участком набора скорости до 20...30 км/ч. В этих пределах трение достигает максимального значения, соответствующего трению покоя, т. е. — полная остановка и старт с места. Перед этим участком, на котором остановившийся транспорт ожидает разрешающего сигнала светофора, имеется участок торможения автомобилей, а за участком полной остановки расположен участок набора скорости. На участке торможения водители уменьшают скорость либо в обычном режиме торможения, либо в экстренном. В случае торможения с заблокированным колесом возникает трение скольжения, оно, как известно, меньше трения покоя, но больше трения качения. Трение качения тем больше, чем меньше скорость движения. Поэтому на 2 глубина колеи износа имеет максимальное значение в местах с наибольшим количеством остановок и стартов с места шипованных шин, а по мере удаления от этого участка глубина колеи уменьшается. На рисунке 2 глубина колеи на 2 больше, чем на участке 1. Это обусловлено тем, что интенсивность движения по полосам прямолинейного движения на порядок больше количества автомобилей, поворачивающих направо. Наибольшая глубина колеи достигает 70 мм и имеет место на второй от оси дороги полосе движения, т. е. на полосе с наибольшей интенсивностью движения легковых автомобилей.

Участок под номером 3 включает участки разгона автомобилей от скорости 20...30 до скорости 60 км/ч (80 км/ч — с учетом допускаемого превышения на 20 км/ч). В пределах этого участка действует трение качения, которое уменьшается при увеличении скорости движения, что проявляется в уменьшении глубины колеи по мере удаления от пересечения дорог.

Таким образом, параметры a и b уравнения (3) характеризуют как материал покрытия, так и горизонтальные нагрузки от шипованной шины, о величине которых мы можем судить по трению, т. е. по сопротивлению этим нагрузкам.

Результаты

Интегральное выражение (3) является простым уравнением, решаемым при помощи таблиц первообразных функций, но имеющим 2 решения для случаев $b = -1$ и $b \neq -1$. При показателе степени $b = -1$ получим:

$$S_N = S_1(1 + a \ln N). \quad (4)$$

При показателе степени $b \neq -1$ получим:

$$S_N = S_1 \left(1 + a \frac{N^{b+1} - 1}{b+1} \right). \quad (5)$$

Формулы (4) и (5) можно использовать для определения относительного износа, характеризующего, во сколько раз глубина колеи S_N больше глубины S_1 , образующейся от первого воздействия. Выполнив простые преобразования, получим:

$$\frac{S_N}{S_1} = (1 + a \ln N), \quad (6)$$

$$\frac{S_N}{S_1} = 1 + a \frac{N^{b+1} - 1}{b+1}. \quad (7)$$

Результаты расчета относительного износа, выполненные по формулам (6) и (7), приведены на рис. 3.

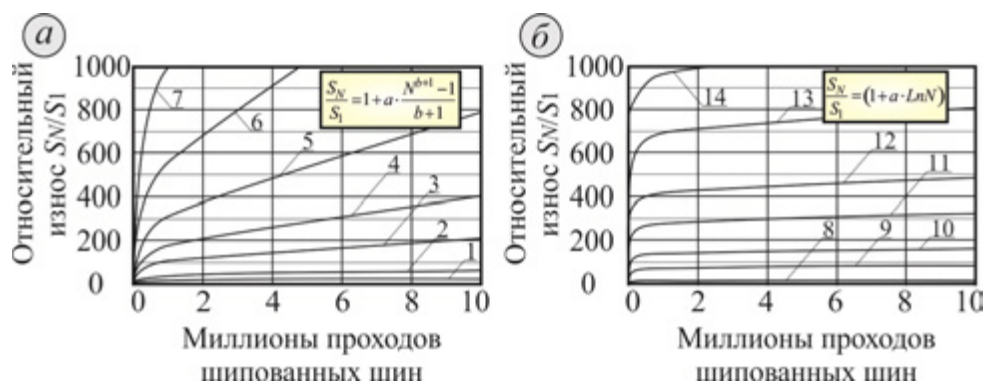


Рис. 3. Зависимость относительного износа покрытия от числа проходов шпированных шин: *a* — результаты расчета по формуле (7) при $a = 0,5$; *б* — результаты расчета по формуле (6): 1–7 — при $b = -0,9; -0,8; -0,7; -0,65; -0,6; -0,55; -0,5$; 8–14 — при $a = 1; 5; 10; 20; 30; 50; 70$

Из анализа рис. 3 следует, что степенная зависимость (7) имеет лучшее качественное соответствие данным эксперимента, показанным на рис. 1, *a* и рис. 1, *б*. Поэтому для расчета абсолютной глубины износа следует рекомендовать формулу (5). Кроме того, результаты расчета по формулам (7) и (5) на втором этапе износа могут быть аппроксимированы линейной зависимостью, что согласуется с эмпирическими линейными моделями, полученными в работе [31]. Отсюда следует, что функция (7) хорошо описывает развитие

относительного износа покрытия, а формула (5) пригодна для расчета глубины колеи износа.

Тем не менее зависимости (4) и (5), а также их аналоги (6) и (7) содержат глубину колеи от первого воздействия шипованной шины S_1 , которую экспериментально определить сложно. Дело в том, что при начальных проходах шипованных шин на покрытии от действия шипов образуются борозды, но колеи еще нет [30]. Поэтому величину S_1 предлагается принять условно в долях от выступа шипа из покрышки, например как $1/3$ от оптимального выступа шипа над резиной покрышки. Тогда получим $S_1 = 0,04$ мм. Возможен и второй путь оптимизации решения (5), суть которого состоит в разделении процесса развития колеи износа на 2 стадии. Первая стадия характеризуется более интенсивным износом асфальтобетонного покрытия. В течение этой стадии глубина колеи достигает значения 5 мм от действия шипованных шин в количестве N_1 . На второй стадии износ менее интенсивен, и к моменту достижения глубины колеи предельного значения, например 30 мм, количество повторных нагрузок шипованной шиной достигает значения N , причем $N > N_1$.

На рисунке 4 приведены результаты расчета глубины колеи износа, выполненные по формуле (5) при $S_1 = 0,04$ мм, $a = 0,5$ и различных значениях параметра b .

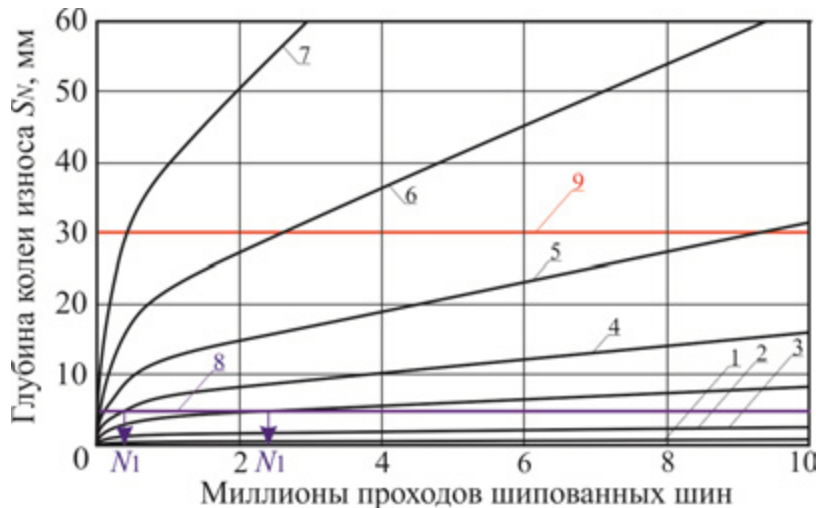


Рис. 4. Зависимость глубины колеи износа от числа проходов шипованных шин: 1—7 — при $b = -0,9; -0,8; -0,7; -0,65; -0,6; -0,55; -0,5$; 8, 9 — предельные глубины колеи 5 и 30 мм для первой и второй стадии работы асфальтобетона

Для модификации зависимости (5) глубину колеи износа представим суммой двух составляющих, в которой первое слагаемое S_{N1} является начальной наиболее интенсивной стадией образования колеи. Второе слагаемое S_{N2} является глубиной колеи износа, развивающейся на основном отрезке эксплуатации. Тогда глубину колеи S_N определим по формуле:

$$S_N = S_{N1} + S_{N2}. \quad (8)$$

Очевидно, что для определения глубины колеи S_{N_2} можно применить способ, аналогичный приему, сделанному в формуле (3):

$$S_N = S_{N_1} \left(1 + a \int_{i=N_1}^N n_i^b dn \right). \quad (9)$$

Взяв определенный интеграл (9), получим решение:

$$S_N = S_{N_1} \left(1 + a \frac{N^{b+1} - N_1^{b+1}}{b+1} \right). \quad (10)$$

В формуле (10) S_{N_1} — глубина колеи величиной 5 мм, которая развивается после N_1 приложений нагрузки от шипованной шины, определяемой путем учета интенсивности движения, показанного на рис. 2.

Заключение

Сравнение результатов расчета глубин колеи, выполненных по формуле (10), с данными экспериментов показывает, что эту зависимость можно использовать для прогнозирования развития колеи при условии определения параметров модели. Феноменологическая модель (10) применима для прогнозирования развития колеи износа в процессе воздействия шипованных шин легковых транспортных средств на различных участках дороги (кривые малого радиуса, участки торможения и разгона, участки полной остановки и последующего старта с места и т. д.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалев Д. И., Шайхутдинова Р. А. Проблемы колесобразования на автомобильных дорогах // Транспортные сооружения. 2022 № 1. URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS122.pdf>.
2. Hafeez I., Kamal M., Mirza M. W. Rutting prediction model of asphalt concrete mixtures using uniaxial repeated creep test // Kuwait Journal of Science & Engineering. 2011. Vol. 38(2). Pp. 45—61.
3. Haritonovs V., Smirnovs J. Prediction of Rutting Formation in Asphalt Concrete Pavement // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2010. Vol. 5(1). Pp. 38—42.
4. Hoang L. N. Effect of aggregate gradation on rutting of asphalt concrete by using a wheel tracking // Journal of the Mechanical Behavior of Materials. 2018. Vol. 27(5-6). Pp. 1—6.
5. Ismael M. Q., Fattah M. Y., Jasim A. F. Improving the rutting resistance of asphalt pavement modified with the carbon nanotubes additive // Ain Shams Engineering Journal. 2021. Vol. 12(4). Pp 3619—3627
6. Monismith C. L. Rutting Prediction in Asphalt Concrete // Transportation Research Record. 1976. Vol. 616. Pp. 2—8.
7. Said S. F., Ahmed A. W., Carlsson H. Evaluation of rutting of asphalt concrete pavement under field-like conditions // The processing in 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Prague, 2016. Pp. 1—11.
8. Thao Ng. D., Le L. X. Research of asphalt pavement rutting on national roads in Vietnam // Proceeding of Atrans symposium. 2016. Pp. 30—39.
9. Кудрявцев А. Н., Лугов С. В., Носов В. П. О прочностных характеристиках неукрепленных каменных материалов слоев оснований при проектировании дорожных одежд // Вестник МАДИ. 2017. Вып. 4(51). С. 79—84.
10. Кудрявцев А. Н. Влияние размера фракции на различные свойства и характеристики неукрепленного каменного материала в основаниях дорожных одежд // Вестник МАДИ. 2018. Вып. 4(55). С. 56—63.
11. Dawson A., Kolisoja P., Vuorimies N., Saarenketo T. Design of low-volume pavements against rutting — a simplified approach // Transportation Research Board. 2007. Vol. 1989(1). Pp. 165—172.

12. Dawson A., Kolisoja P., Vuorimies N. Understanding Low-Volume Pavement Response to Heavy Traffic Loading. Institute of Earth & Foundation Structures, Tampere University of Technology, 2008. 46 p.
13. Александров А. С., Семенова Т. В., Калинин А. Л. Анализ причин колееобразования на покрытиях нежестких дорожных одежд и рекомендации по уменьшению этого явления // Вестник СибАДИ. 2019. № 6(70). С. 718—745.
14. Мевлидинов З. А., Левкович Т. И., Билько А. Е. Обеспечение сдвигоустойчивости асфальтобетонных смесей в покрытиях автомобильных дорог // Транспортные сооружения. 2018. № 3. URL: <https://t-s.today/PDF/06SATS318.pdf>.
15. Левкович Т. И., Беляков А. И., Билько А. Е., Тищенко А. С. О модификации битумов и асфальтобетонных смесей для повышения сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Приволжский научный вестник. 2016. № 1(53). С. 48—53.
16. Навольный А. С., Чернов С. А. Пути подборов составов мелкозернистых асфальтобетонных смесей, наиболее устойчивых к процессам колееобразования // Транспортные сооружения, 2018. № 1. URL: <https://t-s.today/PDF/01SATS118.pdf>.
17. Чернов С. А., Чирва Д. В., Леконцев Е. В. Влияние полимерно-битумного вяжущего на процессы колееобразования в верхних слоях покрытий автомобильных дорог // Науковедение. 2012. № 4(13). Ст. 226.
18. Lekarp F., Dawson A. Analysis of permanent deformation behaviour of unbound granular materials // Processing International Symposium on Thin Pavements, Surface Treatments, Unbound Roads. New Brunswick, 1997.
19. Lekarp F., Dawson A. Modelling permanent deformation behaviour of unbound granular materials // Construction and Building Materials. 1998. Vol. 12. No. 1. Pp. 9—18.
20. Kolisoja P., Vuorimies N. Assessment of the effect of seasonal variations on the unbound materials of low volume roads by laboratory testing // Proc. of the 6th International Symposium on Pavements unbound (UNBAR 6). Nottingham, 2004. Pp. 13—26.
21. Болдырев Г. Г., Идрисов И. Х. Исследование анизотропного поведения грунтов в условиях сложного напряженного состояния. Состояние вопроса. Ч. 1. Влияние направления главного напряжения на прочность грунтов // Геотехника. 2017. № 5. С. 4—19.
22. Болдырев Г. Г., Идрисов И. Х. Исследование анизотропного поведения грунтов в условиях сложного напряженного состояния. Состояние вопроса. Ч. 2. Эффект вращения наибольшего главного напряжения на прочность грунта // Геотехника. 2017. № 6. С. 4—18.
23. Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Глазунов И. И. Влияние жесткости основания на напряжения в конструктивных слоях дорожной одежды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 97—105.
24. Алексиков С. В., Алексиков И. С., Курдюкова Л. Е. Прогнозирование физико-механических свойств грунтов земляного полотна // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2008. Вып. 12. С. 51—53.
25. Малофеев А. Г., Голубенко В. В. Анализ назначения прочностных характеристик материалов конструктивных слоев нежестких дорожных одежд // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 84—95.
26. Матуа В. П., Исаев Е. Н., Чирва Д. В. Методика исследования связанных грунтов на накопление остаточных деформаций // Вестник ТГАСУ. 2016. № 56(3). С. 186—193.
27. Васильев Ю. Э., Ивачев А. В., Братищев И. С. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износному колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным // Науковедение. 2015. Т. 7. № 5. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf>.
28. Данилов В. В., Цариков А. А. Опыт устранения колеи износа на примере автомобильных дорог Свердловской области // Дороги и мосты. 2020. Вып. 44. С. 93—114.
29. Челушкин И. А. Влияние сил от колес автомобиля при движении по криволинейным участкам дорог на образование колеи в асфальтобетонном покрытии. Ч. 1. Поперечные силы // Науковедение 2015. Т. 7. № 6. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/10KO615.pdf>.
30. Burke J. E., McKenzie L. J. Some Tests of Studded Tires in Illinois // Highway Research Record. 1966. Vol. 136. Pp. 42—58.

31. *Shippen N., Kennedy M., Pennington L. S.* Review of studded tires in Oregon // Final Report SPR 304—671. 2015. 76 p.
32. *Preus C. K.* Effects of Studded Tires on Pavement Wear and Traffic Safety // Highway Research Record. 1972. Vol. 352. Pp. 23—44.
33. *Lundy J. R., Hicks R. G., Scholz T. V., Esch D. C.* Wheel Track Rutting Due to Studded Tires // Transportation research record. 1992. Vol. 1348. Pp. 18—28.
34. *Крагельский И. В.* Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 430 с.
35. *Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С.* Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
36. *Siebert D.* How wear affects road surface texture and its impact on tire/road noise. PhD Thesis. Trondheim : Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 2017. 59 p.
37. *Kupiainen K.* Road dust from pavement wear and traction sanding. Helsinki : Finnish Environment Institute, 2007. 50 p.
38. *Gayfutdinov R., Bajmukhametov G., Hafizov E.* Pavement wear process and abrasive wear resistance of asphalt concrete // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 274. DOI: 10.1051/e3sconf/202127402008.
39. *Александров А. С.* Пластическое деформирование гранодиоритового щебня и песчано-гравийной смеси при воздействии трехосной циклической нагрузки // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 4(39). С. 22—34.
40. *Александрова Н. П., Чусов В. В.* Применение интегральных уравнений наследственных теорий для расчета изменения мер теории поврежденности при воздействии повторных нагрузок // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2(62). С. 69—82.

© Александров А. С., Александрова Н. П., Раскошный Д. Ю., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Александров А. С., Александрова Н. П., Раскошный Д. Ю. Прогнозирование глубины колеи износа на асфальтобетонном покрытии в пределах участков торможения транспортных средств // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 49—61.

Об авторах:

Александров Анатолий Сергеевич — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации дорог, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр-т Мира, 5; alexandrov00@mail.ru

Александрова Наталья Павловна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации дорог, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр-т Мира, 5; nata_26.74@mail.ru

Раскошный Денис Юрьевич — инженер научно-исследовательского отдела Научно-исследовательского управления, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр-т Мира, 5; denis19999-09@mail.ru

Anatoly S. Aleksandrov, Natalya P. Aleksandrova, Denis Yu. Raskoshnyi

Siberian State Automobile and Highway University

FORECASTING THE DEPTH OF THE RUT ON THE ASPHALT CONCRETE PAVEMENT WITHIN THE BRAKING AREAS OF VEHICLES

The analysis of the conditions for the formation of wear ruts formed on the surface of asphalt concrete coatings on high-speed sections of traffic and on the braking areas of vehicles is carried out. As a result, it was found that the most dangerous areas for the formation of wear ruts are the braking areas, which is explained by the excess of sliding friction of the rolling friction. A method for calculating the depth of the wear track for its prediction during operation is proposed, and the main methods for combating track formation caused by the wear of asphalt concrete pavement are formulated.

K e y w o r d s: rut depth, rut wear, studded tire.

For citation:

Aleksandrov A. S., Aleksandrova N. P., Raskoshnyi D. Yu. [Forecasting the depth of the rut on the asphalt concrete pavement within the braking areas of vehicles]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 49—61.

About authors:

Anatoly S. Aleksandrov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI). 5, Mira Ave., Omsk, 644080, Russian Federation; aleksandrov00@mail.ru

Natalya P. Aleksandrova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI). 5, Mira Ave., Omsk, 644080, Russian Federation; nata_26.74@mail.ru

Denis Yu. Raskoshnyi — Engineer, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI). 5, Mira Ave., Omsk, 644080, Russian Federation; denis19999-09@mail.ru

УДК 625.84

С. В. Алексиков, Д. И. Гофман, И. В. Самсонов, А. И. Лескин

Волгоградский государственный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДОРОЖНЫХ ТРУБ

Представлен анализ состояния водопропускных труб в Волгоградской области. Приведена статистика дефектов, описаны основные причины разрушения конструкций. Показаны преимущества современных металлических гофрированных труб, особенности их проектирования и строительства.

Ключевые слова: автомобильные дороги, металлические гофрированные трубы, водопропускные трубы, дефекты конструкций, проектирование, дорожное строительство.

Основным видом водопропускных сооружений на автомобильных дорогах являются трубы, устраиваемые в теле насыпи дороги для пропуска расходов воды до $6...10 \text{ м}^3/\text{с}$. Устройство труб требует меньших затрат по сравнению с мостами и позволяет сохранить цельность дороги. Доля водопропускных труб на автомобильных дорогах европейской части СССР, построенных в 1930—1990 гг., составляет 88...93 %, из них 95 % — железобетонные трубы [1, 2]. Многолетняя эксплуатация конструкций без надлежащего капитального ремонта привела к значительным разрушениям сооружений (рис. 1).



Рис. 1. Дефекты железобетонных водопропускных труб: *a* — разрушения стыка между звеньями трубы; *b* — раздавливание тела трубы; *v* — замылы грунта отверстия трубы; *z* — размыв русла трубы

Повреждения, получаемые железобетонными трубами в процессе эксплуатации, связаны в основном с пропуском весенних и ливневых паводков. Наиболее распространенными являются деформации части труб и оголовков, полученные вследствие неравномерных осадок и размыва грунта при прохождении паводков. Нарушение технологии производства работ при укладке труб, например недостаточное уплотнение «пазух», укладка труб на слабых грунтах основания, приводят к образованию промоин. Прохождение транспортных средств большой грузоподъемности при насыпях малой высоты вызывает полные или частичные разрушения средних звеньев труб¹ [2]. Бетон замоноличивания стыков между звеньями, не отвечающий требованиям по морозостойкости, местами размораживается и легко разрушается в стыках. Конструктивные решения входного и выходного оголовков не отвечают нормативным требованиям вследствие их износа, возникают размывы грунта и откосов насыпи в зоне входного и выходного оголовков. Монолитный бетон струенаправляющих стенок не отвечает требованиям по морозостойкости и прочности. Еще одним из факторов, вызывающих повреждения водопропускной трубы, ее оголовков и укреплений, является заиливание трубы.

Обследования показали характерные дефекты труб [2]:

- осадка и крен звеньев — 29 %;
- раскрытие швов между звеньями — 74 %;
- трещины, сколы и разрушение бетона звеньев — 48 %;
- осадка и крен оголовков труб — 31 %;
- пучение оголовков и концевых звеньев — 50 %;
- отрыв оголовков от тела трубы — 17 %;
- трещины и разрушение оголовков — 69 %.

Альтернативой железобетонным трубам являются современные металлические и полимерные конструкции² [1, 2].

Трубы из полимерных композиционных материалов³

Водопропускные трубы из полимеров с каждым годом становятся все популярнее, несмотря на свою дороговизну. Полимерные трубы самые легкие (что немаловажно при транспортировке и монтаже), по прочности зачастую не уступают металлу и железобетону, стойкие к воздействию коррозии и, как следствие, долговечные (срок эксплуатации исчисляется десятилетиями). Допускается применение труб из полимерных композиционных материалов для удлинения существующих бетонных, железобетонных, каменных и металлических труб при уширении проезжей части и реконструкции дорог, для замены мостов и путепроводов, а также ремонтах существующих труб методом «труба в трубе» [1].

¹ ГОСТ 32871—2014. Дороги автомобильные общего пользования. Трубы дорожные водопропускные. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119826>.

² ОДМ 218.3.053—2015. Рекомендации по применению водопропускных труб из полимерных композиционных материалов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456064626>.

ОДМ 218.2.001—2009. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон). М. : ФДА РОСАВТОДОР, 2009. 206 с.

³ Там же.

Металлические гофрированные трубы [1]⁴

Металлические водопропускные трубы с гофрированным корпусом (МГТ) — самые прочные и износостойкие. Срок службы труб, покрытых антикоррозионным слоем, достигает 50 лет. МГТ обладают гибкостью, сегменту трубы можно придать нужную форму. Круглые спиральновитые МГТ и трубы полицентрической формы, арки быстро монтируются с минимальными затратами и сроками.

В последнее время МГТ находят все большее применение в дорожном строительстве Волгоградской области (рис. 2). Это объясняется накопленным положительным опытом эксплуатации металлических гибких конструкций (МГК). При пересечении постоянных водотоков с расходом 5...90 м³/с доказана возможна установка полусфер (арочных конструкций) пролетом более 18...20 м) или труб большого размера из МГК вместо традиционных железобетонных мостов (рис. 3, 4).

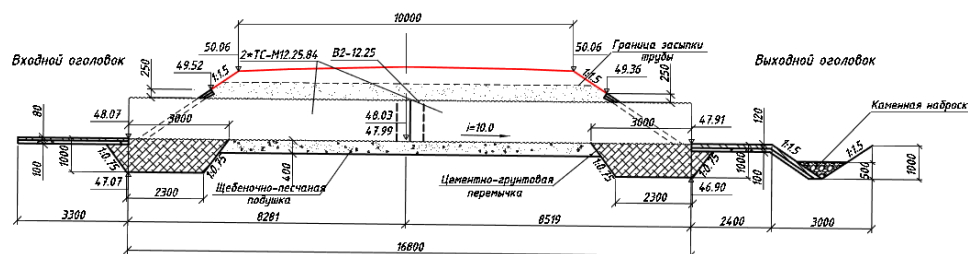


Рис. 2. Металлическая спиральновитая МГТ 1,20 м на автомобильной дороге «Подъезд к х. Пристеновский» в Волгоградской области



Рис. 3. Переход через балку Черная, МГТ 2×3,0

⁴ Там же.



Рис. 4. Арочный переход из МГК через р. Солоня шириной в свету 15,10 м

По сравнению с железобетонными МГТ обладают рядом преимуществ [1, 3]:

- легкость конструкции, оптимальное соотношение веса трубы и ее несущей способности;
- экологичность строительного процесса;
- быстрота сборочного монтажа и технологичность конструкции (трубы диаметром до 3 м монтируют за 1...5 сут);
- повышенная устойчивость к разрушению;
- большая гибкость и прочность, которые обусловлены совместной работой трубы с грунтом обратной засыпки;
- долговечность (срок службы МГТ до 70 лет);
- незначительные транспортные расходы — гофрированные листы МГТ транспортируют в пакетах весом 1...5 т. В железнодорожный вагон загружается около 350 п. м трубы диаметром 1,5 м, а в автомобиль — до 100 м. Разгрузка может производиться вручную, так как вес одного листа составляет 60...100 кг;
- разнообразие форм и размеров позволяет подобрать оптимальный вариант МГТ для конкретных условий;
- снижение строительных затрат на 30...60 %;
- простота и надежность соединений труб небольшого размера муфтами без раструбов;
- восстановление малых мостов и труб, требующих капитального ремонта, без вскрышных работ с сохранением целостности насыпи;
- высокая приспособленность к изменению температуры воздуха и грунтово-геологических условий. Нет необходимости устройства бетонного фундамента, достаточно щебеночно-песчаной подушки (см. рис. 2)⁵.

⁵ ОДМ 218.2.001—2009. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон). М. : ФДА РОСАВТОДОР, 2009. 206 с.

Несмотря на явные преимущества МГТ, в регионе зафиксированы следующие дефекты сооружений:

- заиливание отверстия труб (рис. 5);
- размывы грунта на откосах насыпи;
- разрушения укреплений на выходе (рис. 6);
- просадки срединной части труб до 11 см;
- обратные уклоны лотка трубы — до 31,25 ‰ (табл. 1) и площадки укрепления оголовков;
- трещины бетонных укреплений сооружений.



Рис. 5. Заиливание отверстия трубы



Рис. 6. Размыв укрепления трубы на выходе

Таблица 1

Отклонения фактических отметок и уклоны лотка МГТ

Значение	Отклонения фактических отметок от проектных, см		
	Входной оголовок	Середина трубы	Выходной оголовок
Среднее	20	-7	16
Максимальное	34	-2	26
Минимальное	-3	-11	0
	Уклоны лотка трубы, ‰		
Среднее	39		-14
Максимальное	52,5		3,75
Минимальное	18,75		-31,25

Обратные уклоны лотка, затрудняющие сток, приводящие к застою воды в трубах, коррозии стенок сооружений, переувлажнению основания, объясняются отсутствием строительного подъема при монтаже конструкций. При проектировании вопрос об уклоне решается после определения осадок и строительного подъема, создаваемого для частичной компенсации осадок

основания МГТ⁶. Металлические трубы проектируются на песчаных, глинистых грунтах или подушке из щебеночно-песчаной смеси и т. п. В связи с этим величина строительного подъема Δ в середине трубы назначается в зависимости от высоты насыпи $1/80H$, $1/50H$ или $1/40H$ соответственно. При этом необходимо выполнение условий нормальной эксплуатации МГТ по ее уклону и осадке. Взаимосвязь между уклоном трубы i_T , осадкой трубы S относительно ее концов и строительным подъемом Δ в середине трубы устанавливается на основе следующих предпосылок:

1. До засыпки трубы допустимо возвышение ее середины над входом на половину величины ожидаемой осадки в расчете на то, что вскоре после полной отсыпки насыпи над трубой указанное превышение исчезнет и труба к моменту начала эксплуатации не будет иметь обратного уклона на входе.

2. После завершения осадок труба может приобрести вогнутый профиль, однако ни в одном ее сечении при этом не должно быть обратного уклона.

При описании осадки S по квадратичной параболе с горизонтальной касательной на низовом конце условие 1 записывается в виде⁷:

$$\Delta \leq 0,5i_T L + 0,5S.$$

Назначение продольного уклона лотка следует выполнять по условию [4]:

$$i_T \geq \frac{S}{1,5L}.$$

Расчета осадок основания трубы под действием веса насыпи построен на принципе послойного суммирования деформаций обжатия грунта в пределах сжимаемой толщи. Верхняя граница сжимаемой толщи под насыпью высотой H проходит по подошве фундамента, нижняя граница располагается на глубине H_a , определяемой⁸ [4]:

при отсутствии грунтовых вод

$$H_a = 3 + 1,4H,$$

при наличии грунтовых вод

$$H_a = 4 + 1,8H.$$

Осадка основания трубы зависит от высоты насыпи H и среднего модуля деформации грунта E . Результаты компьютерного моделирования осадки основания, выполненные согласно рекомендациям⁹, представлены на рис. 7.

⁶ ОДМ 218.2.001—2009. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон). М. : ФДА РОСАВТОДОР, 2009. 206 с.

⁷ Там же.

⁸ Там же.

⁹ Там же.

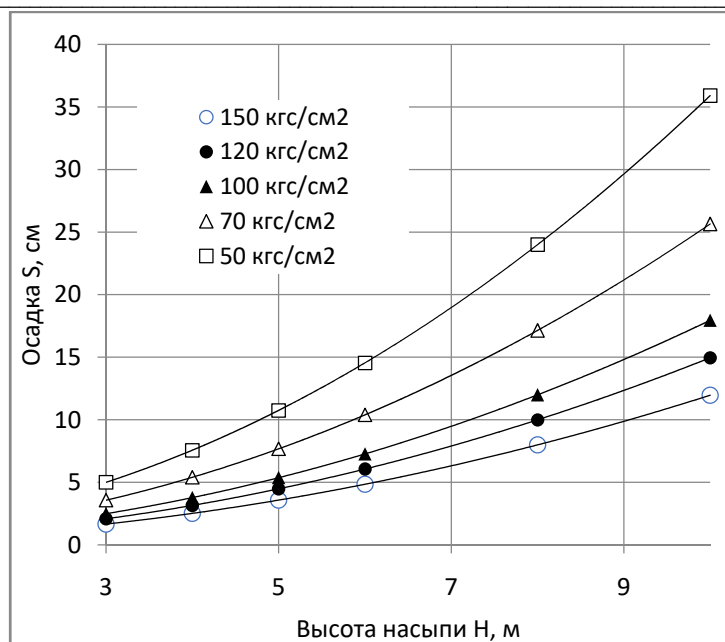


Рис. 7. Осадка МГТ в зависимости от высоты насыпи и модуля деформации грунта основания для сухих участком местности

Регрессионные зависимости расчета осадки МГТ имеют вид:
для сухих грунтов

$$S = \frac{36,382H^{1,70}}{E},$$

коэффициент корреляции 0,9, стандартная ошибка 0,04;
для водонасыщенных грунтов

$$S = \frac{43,908H^{1,73}}{E},$$

коэффициент корреляции 0,9, стандартная ошибка 0,026.

При проектировании МГК из одной-двух секций расчет строительного подъема выполняется только оси насыпи¹⁰ [4]. Если же МГК состоит из нескольких секций, необходимо дополнительно указывать строительный подъем на стыках секций труб.

Долговечность труб из МГК определяется интенсивностью коррозионного и абразивного разрушения гофрированного металла, которые зависят от многих факторов [1, 5, 6]. Многочисленные данные свидетельствует о том, что долговечность МГТ, защищенной от коррозионного разрушения только цинковым покрытием, даже при нулевой кислотности (рН = 7) весьма небольшая и достигает 50 лет только в благоприятных условиях. В неблагоприятных

¹⁰ ОДМ 218.2.001—2009. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон). М. : ФДА РОСАВТОДОР, 2009. 206 с.

условиях ($pH < 5$), при отсутствии или пониженном уровне абразивного воздействия водного потока, срок службы не более 10 лет, что намного меньше рекламного 50...60 лет.

Для повышения гидравлической надежности, долгосрочной работы сооружений рекомендуется отказаться от сложившейся в РФ практики строительства оцинкованных МГТ без дополнительного защитного покрытия или использования в качестве защитного покрытия только полимера NDPE [1]. Такая практика сокращает долговечность МГТ до 10 лет в результате значительных абразивных разрушений трубы (рис. 8). Кроме того, очистка отверстия труб от наносов грунта (заиления) в процессе эксплуатации сооружений приводит к механическому повреждению защитного полимерного покрытия, что ускоряет коррозию металла.

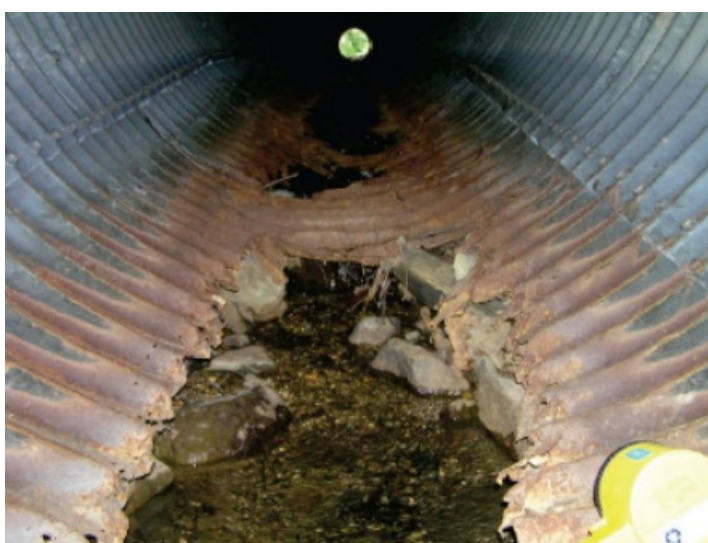


Рис. 8. Коррозия донной области МГТ, ускоренная абразивным воздействием водного потока при отсутствии лотка по дну [1]

Зарубежный и отечественный опыт показывает, что наиболее эффективной защитой от абразивного воздействия водного потока является укладка гладкого лотка [6—9]. Это не только сказывается на устойчивости трубы к воздействию коррозии и истиранию, но и повышает пропускную способность сооружения за счет уменьшения коэффициента шероховатости [1]. Одновременно лоток снижает площадь поперечного сечения трубы, занимая часть внутреннего периметра МГТ, создает дополнительные сопротивления, зависящие от параметров гладкого лотка [1, 7, 10]. В результате коэффициент шероховатости при безнапорном режиме не постоянный. С изменением наполнения трубы в живом сечении меняется соотношение между размерами гладкого лотка и гофрированного металлического листа, т. е. между смоченными периметрами гладкой и гофрированной частей трубы, что меняет коэффициент шероховатости [11]. Вследствие этого методика гидравлического расчета МГТ требует совершенствования.

В соответствии с ОДМ 218.2001—2009 лотки необходимо устраивать во всех строящихся в России водопропускных сооружениях из МГК. Бетонный

или асфальтобетонный лоток должен закрывать нижний сегмент трубы из МГК, при этом центральный угол должен составлять более 90° , а толщина лотка над гребнем гофра более 2 см. При ремонте разрушенных монолитных лотков рационально использовать сборные блоки шириной 22...25 см, длиной 43...45 см (рис. 9).



Рис. 9. Устройство сборного лотка в эксплуатируемой трубе: 1 — металлическая гофрированная труба; 2 — сборные блоки лотка; 3 — защитное покрытие; 4 — замена болтов [1]

Следует отметить, что для большинства построенных в РФ МГТ рекомендации по устройству лотков выполняются зачастую условно. Однако лоток не только защищает антикоррозионное покрытие и металл труб от истирания взвесями и песчаными частицами в водном потоке, но и повышает надежность и долговечность сооружения в целом, снижая вероятность отложения наносов в нижней части лотка трубы [12—14]. При этом следует учитывать, что устройство лотка приводит к уменьшению относительной глубины и увеличению скорости водного потока до 50 % на выходе из трубы, что повышает риск размыва укрепления [2].

Большое количество болтовых соединений и гибкость конструкции не позволяют обеспечить надежную герметичность МГТ. Поэтому в отечественных рекомендациях¹¹ при проектировании МГТ предпочтительно рассчитывать на работу в безнапорном режиме. При этом между поверхностью потока в трубе диаметром до 3,0 м и шельгой ее свода должен сохраняться зазор более $\frac{1}{4}$ отверстия трубы в свету, а в трубах диаметром более 3,0 м — не менее 0,75 м [15]. Заполнение входного и выходного сечений МГТ ограничивается соответственно 0,75 и 0,9 от высоты трубы.

В отличие от бетонного сооружения стальная труба не способна выдерживать постоянные и переменные нагрузки от давления грунта и автомобилей. При строительстве сооружения важно исключить развитие поперечных деформаций конструкции МГТ на уровне горизонтального диаметра. Поэтому вокруг сооружения необходимо устройство грунтовой (армогрунтовой)

¹¹ Там же.

обоймы из песков с коэффициентом уплотнения не ниже 0,95. При высокой насыпи над МГТ с целью снижения напряжений в металле грунтовая обойма может быть устроена в виде подпорных стенок из армогрунта с применением объемных георешеток и геотекстилей [16]¹².

Накопленный опыт строительства и эксплуатации позволяет сказать, что сооружения из МГК по сравнению с гладкими бетонными трубами имеют ряд преимуществ: снижение строительных затрат на 30...60 %, долговечность (до 50 лет), простота транспортировки и монтажа сооружения. Основным недостатком сооружений из МГК состоит в их подверженности коррозии и абразивному истиранию частицами, транспортируемыми водным потоком. Для повышения надежности сооружений необходимо устраивать бетонный или асфальтобетонный гладкий лоток по их дну. При производстве работ важно обеспечить качественное уплотнение песка грунтовой обоймы вокруг МГТ, монтаж сооружения выполнять со строительным подъемом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтунин В. И., Черных О. Н., Федотов М. В. Водопропускные сооружения транспортных магистралей из металлических гофрированных структур : монография. М. : МАДИ, 2016. 304 с.
2. Бурлаченко А. В. Повышение надежности инновационных конструкций водопропускных труб // Природообустройство. 2016. № 4. С. 6—12.
3. Олт Дж. П. Исследования в условиях строительства гофрированных стальных труб с полимерным покрытием // Национальная ассоциация по производству гофрированных стальных труб, Американский институт железа и стали, 25 Massachusetts Ave, NW, Washington DC., 2012. 39 с.
4. Этин П. Ю. Проектирование водопропускных железобетонных труб под насыпями автомобильных дорог : учеб.-метод. пособие. Гомель : БелГУТ, 2017. 47 с.
5. Формирование напорного режима в гофрированных трубах с гладким лотком по дну / В. В. Ушаков, В. И. Алтунин, О. Н. Черных, А. В. Бурлаченко, М. В. Федотов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 2. С. 38—40.
6. Invert abrasion testing of CSP coatings // National corrugated steel pipe association. 2002. No. 3. P. 19.
7. Суэтина Т. А., Черных О. Н., Бурлаченко А. В. Особенности гидравлического расчета стальных водопропускных труб со спиральной формой гофра // Программа и тезисы докладов VII Международного симпозиума «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений. Новосибирск : НГАСУ, 2018. С. 249.
8. Webster M. J., Metcalf L. R. Friction factors in corrugated metal pipe // Proceedings A.S.C.E. Journal of the Hydraulics div. 1959. Vol. 85. No. 9.
9. Bailey Eu. Decision Analysis Guide for Corrugated Metal Culvert Rehabilitation and Replacement Using Trenchless Technology // United States Department of Agriculture. Forest Service. National Technology & Development Program. December 2012. P. 104.
10. Федотов М. В., Алтунин В. И., Черных О. Н., Нахмуринов С. С. Исследование гидравлического сопротивления гофрированной водопропускной трубы с гладким лотком по дну // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 2. С. 32—34.
11. ODOT Hydraulics Manual. April 2014. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.oregon.gov/odot/hydraulics/Docs_Hydraulics_Manual/Hydraulics-14.pdf.
12. Федотов М. В., Алтунин В. И., Черных О. Н., Нахмуринов С. С. Работа гофрированных труб в различных гидравлических режимах // Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. № 4(59). С. 27—29.
13. Ханов, Н. В., Бурлаченко А. В. Заиление трубчатых водопропускных сооружений из гофрированного металла // Природообустройство. 2018. № 1. С. 38—44.
14. Garde R. J. Sediment transport through pipes // Report CER NO.56, RJG 19, Department of civil Engineering, Colorado state University, Fort Collins, 1956.

¹² Там же.

15. *Осокин И. А.* Совершенствование методов расчета металлических гофрированных конструкций с эксплуатационными повреждениями : дисс... канд. техн. наук. Пенза, 2015. 242 с.

16. *Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Багдасарян А. А.* Исследование устойчивости высоких насыпей при их уширении // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 78—87.

© *Алексиков С. В., Гофман Д. И., Самсонов И. В., Лескин А. И., 2023*

*Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Алексиков С. В., Гофман Д. И., Самсонов И. В., Лескин А. И. Повышение надежности металлических дорожных труб // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 62—72.

Об авторах:

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; AL34rus@mail.ru

Гофман Дмитрий Иванович — канд. техн. наук, доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dima.0103@mail.ru

Самсонов Игорь Владимирович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; samsonov_iv@civssm.ru

Лескин Андрей Иванович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; leskien@inbox.ru

Sergei V. Aleksikov, Dmitrii I. Gofman, Igor' V. Samsonov, Andrei I. Leskin

Volgograd State Technical University

IMPROVING THE RELIABILITY OF METAL ROAD PIPES

This article presents an analysis of the state of culverts in the Volgograd region. The statistics of defects are given and the main causes of destruction of structures are described. The advantages of modern metal corrugated pipes, the features of their design and construction are shown.

Key words: roads, metal corrugated pipes, structural defects, design, construction.

For citation:

Aleksikov S. V., Gofman D. I., Samsonov I. V., Leskin A. I. [Improving the reliability of metal road pipes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3, pp. 62—72.

About authors:

Sergei V. Aleksikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; AL34rus@mail.ru

Dmitrii I. Gofman — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dima.0103@mail.ru

Igor' V. Samsonov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; samsonov_iv@civssm.ru

Andrei I. Leskin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; leskien@inbox.ru

УДК 625.711.4

С. Г. Артемова, Е. Е. Рожнов, А. Н. Старцева

Волгоградский государственный технический университет

ВЕЛОТРАНСПОРТНАЯ СТРУКТУРА ГОРОДА ВОЛГОГРАДА

Целью работы является определение алгоритмов процесса внедрения велотранспортной инфраструктуры с последующей разработкой критериев выбора элементов обустройства на территории Волгограда, а также предложение методов оценки степени опасности веломаршрутов. Представлена актуальность темы исследования и ее взаимосвязь с изложенным материалом. Объектом исследования выступают существующие веломаршруты и отдельные элементы велотранспортной инфраструктуры Волгограда.

Ключевые слова: велотранспортная инфраструктура, велосипедный транспорт, велодорожки, транспортная безопасность, веломаршрут.

Жители больших городов ежедневно сталкиваются с проблемами перегруженности транспортом центральной части, а также с транспортными пробками в направлении спальных районов.

Растущий уровень автомобилизации способствует снижению средней скорости движения транспортных средств и приводит к возникновению дорожных заторов. Наряду с этим в крупных мегаполисах трудно расширить ширину проезжей части, обеспечив повышение пропускной способности автомобильных дорог. В таких условиях постепенно приоритетным направлением становится строительство новых дорог и улиц, что позволит перенаправлять транспортные потоки, разгружая существующие магистрали. Недостатком таких проектов является высокая стоимость строительства.

Разработка и применение цифровых технологий в транспортной сфере определяет формирование приоритетных направлений обеспечения пешеходного и велосипедного движения. Сегодня активно разрабатываются различные системы управления движением как транспортным, так и пешеходным. Совокупная работа определенного количества датчиков позволяет собирать и анализировать большой объем данных с целью улучшения функционирования отдельных участков улично-дорожной сети. Например, речь идет о переменном включении светофорных комплексов или разделении транспортных и пешеходных потоков во времени и в пространстве¹.

Реализация подобных проектов должна обеспечивать устойчивость транспортной системы, ее способность качественно удовлетворять потребности общества в перевозках (баланс транспортного спроса и предложения) за счет развития мультимодальности при одновременной минимизации негативных воздействий на здоровье людей, экономику и состояние окружающей среды [1—3].

Ключевую роль играет фактор передвижения из центра города в отдаленные спальные районы и наоборот. Существуют определенные алгоритмы для определения оптимальных временных показателей перемещения в условиях

¹ СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. М., 2019. 85 с.

СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01—89*. М., 2016. 125 с.

центр населенного пункта из любой другой точки города. Это позволяет обеспечить наибольшую экономическую целесообразность и эмоциональную стабильность пассажиров и водителей, положительно влияет на предотвращение дорожно-транспортных происшествий [4].

При решении этих задач велосипедный транспорт сможет оказать решающее влияние, т. к. использование велотранспорта может существенно разгружать улично-дорожную сеть (УДС), увеличивая скорость сообщения.

Сегодня в зарубежных странах использование велосипедного транспорта становится все более активным. Успех объясняется рядом преимуществ: борьба с транспортными заторами и, соответственно, экологическими проблемами, улучшение здоровья жителей городов, экономическое развитие (рис. 1).

Повысить привлекательность велосипедного транспорта можно благодаря мероприятиям, обеспечивающим его безопасность, комфорт и надежность. Важным компонентом популяризации является экологическое предпочтение по сравнению с другими видами транспорта.

Существенным аспектом остается возможность уменьшить количество передвигающихся транспортных средств, особенно в часы пик. Это становится экономически актуальным, поскольку существуют нормативные временные показатели перемещения из различных точек города до центра [5—7].

Распределение существующего пространства УДС между различными видами транспорта должно рассматриваться регулярно, чтобы гарантировать надлежащее внимание потребностям велосипедистов, в будущем возможно перераспределение проезжей части в соответствии с ростом использования велосипедов.

Волгоград является одним из городов с наиболее выраженной линейной вытянутой геометрией, но, несмотря на большую протяженность, существует лишь одна транспортная магистраль, проходящая через весь город от начала и до конца (и являющаяся самой длинной дорогой в Европе), что часто приводит к большим дорожным заторам².

С другой стороны, существующая геометрия УДС Волгограда позволяет рассматривать возможность проектирования длинных протяженных велосипедных маршрутов, на которых можно двигаться прямолинейно и не совершать частые маневры.

При внедрении велотранспортной инфраструктуры в Волгограде первоочередной проблемой является отсутствие необходимого количества свободного пространства в центральной части города.

На сегодняшний день, благодаря усилиям администрации, на территории Волгограда сформированы определенные участки УДС, выделенные для движения велосипедистов. Ниже приведены некоторые примеры существующих велополос и велодорожек, которые обеспечивают передвижение велосипедного транспорта (рис. 2—8). Существующие велодорожки дают возможность создания единой сети, которая соединит все районы города и обеспечит непрерывное движение из любой точки города в его центр [8, 9].

² ГОСТ Р 50597—2017. Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. М. : Госстандарт, 2018. 28 с.

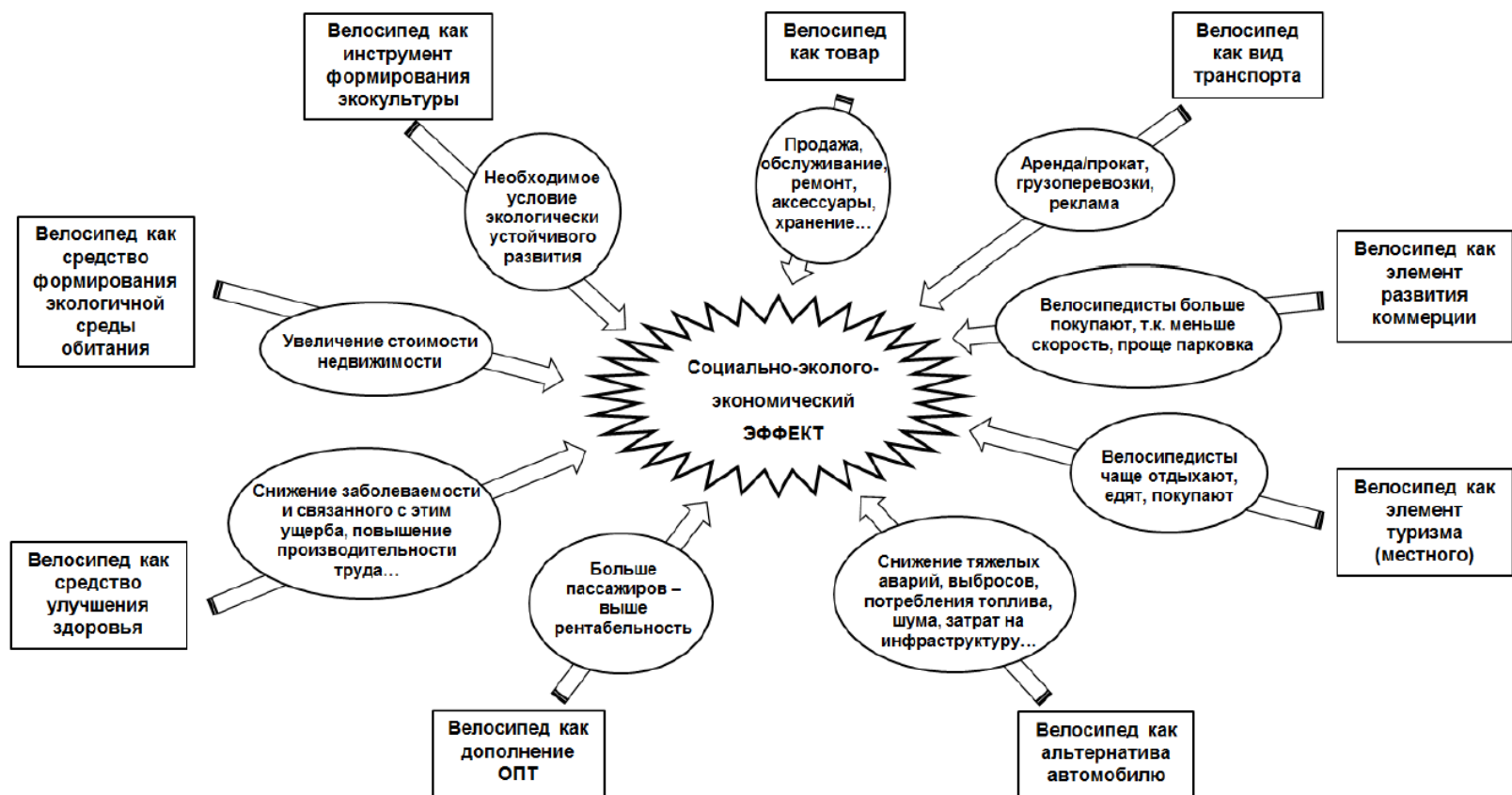


Рис. 1. Оценка социально-экономической и экологической эффективности от развития велосипедного движения

Наибольшую протяженность имеет выделенная велополоса на проезжей части пр. им. В. И. Ленина для движения в одном направлении протяженностью 2,26 км и шириной 1,5...2,0 м. Указанная полоса соответствует требованиям п. 1.7 СП 42.13330.2016, т. к. выделена на проезжей части магистрали общегородского значения 2-го класса.

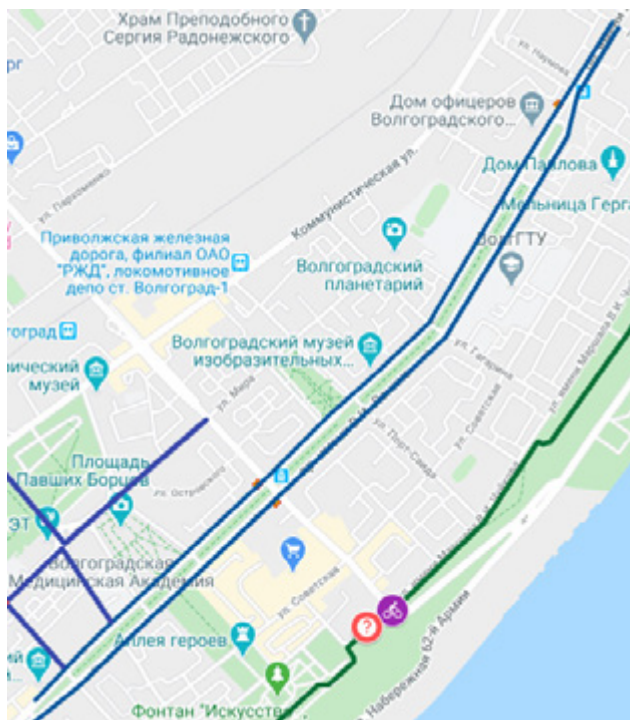


Рис. 2. Велосипедная полоса пр. им. В. И. Ленина

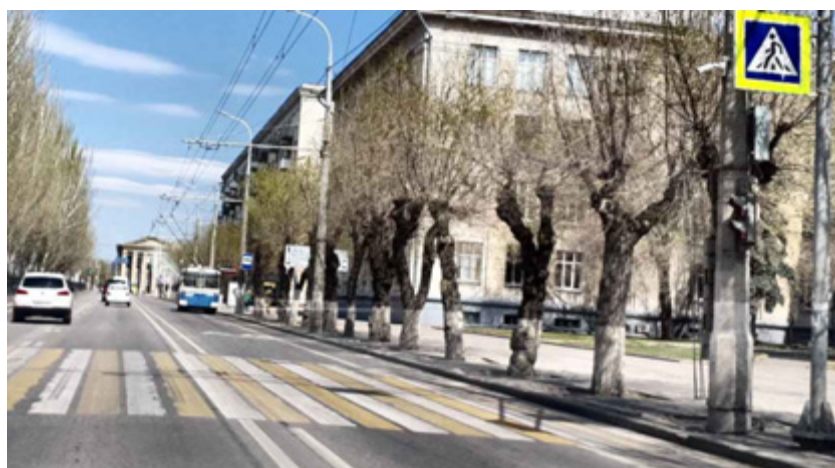


Рис. 3. Велосипедная полоса пр. им. В. И. Ленина рядом с ВолгГТУ: велодорожка для движения в 2 направлениях вдоль рокадной магистрали протяженностью 2017 м и шириной 2,5 м. Указанная полоса соответствует требованиям п. 1.7 СП 42.13330.2016



Рис. 4. Велодорожка вдоль Волги

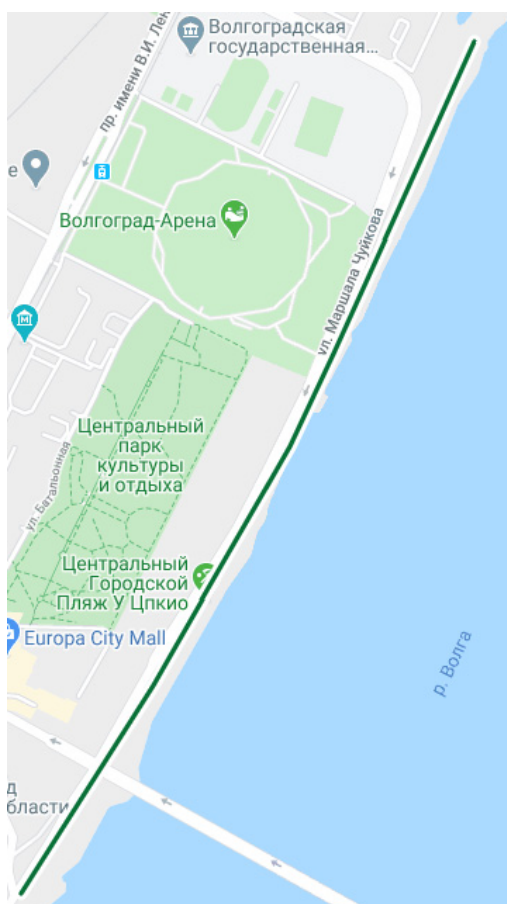


Рис. 5. Велодорожка вдоль Волги по парковой зоне верхней террасы Центральной набережной (параллельно ул. им. маршала В. И. Чуйкова) для движения в 2 направлениях, общей протяженностью 945, 1030 и 582 м и шириной 3,0 м

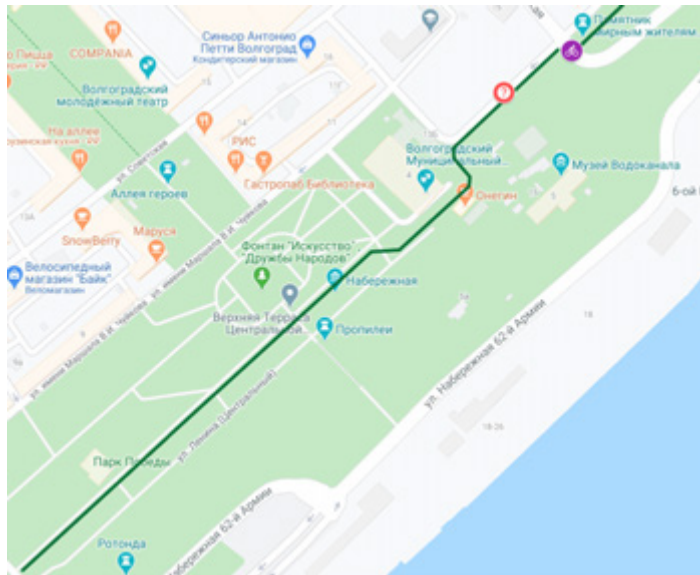


Рис. 6. Велодорожка верхней террасы Центральной набережной

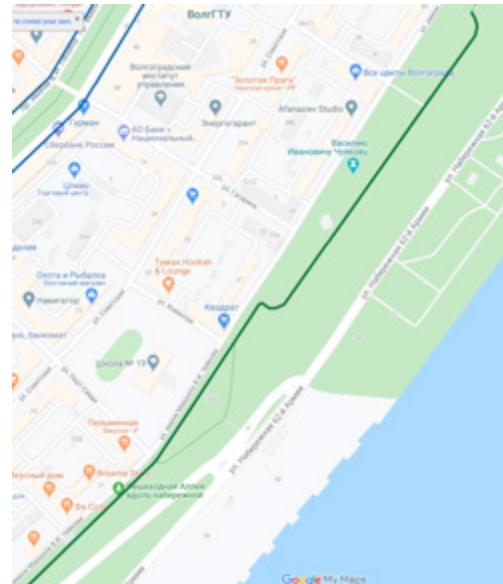


Рис. 7. Велодорожка верхней террасы Центральной набережной

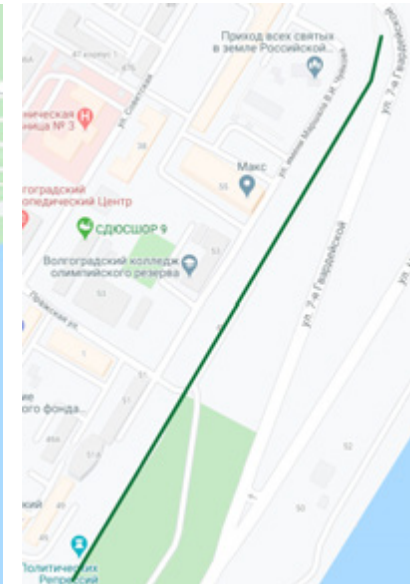


Рис. 8. Велодорожка верхней террасы Центральной набережной

Таким образом, на территории Волгограда в настоящее время существуют велодорожки и велополосы, но они не объединены в общую систему велотранспортной инфраструктуры.

Для успешного развития велотранспортной инфраструктуры необходимо разрабатывать и внедрять полноценную систему маршрутов велодвижения, способную к адаптации и управлению. При проектировании такой системы отдельное внимание необходимо уделить компонентам, формирующим структуру проекта. Для этого требуется проведение натурных наблюдений для сбора первичных данных с последующим формированием целей и задач [10].

В связи с отсутствием статистических данных рекомендуется учитывать информацию о развитии велотранспортных систем в других городах и странах. Благодаря успешному развитию за рубежом многочисленных элементов велотранспортной инфраструктуры формируются данные, показатели и индикаторы, позволяющие оценить эффективность различных мероприятий и средств в рамках работы велодвижения. Статистические данные решают вопросы разработки и применения новых решений с целью улучшить инфраструктуру и устранить недостатки³.

Учитывая опыт применения велосипедного транспорта, можно выделить основные критерии, влияющие на процесс реализации велотранспортной системы:

- анализ планировки УДС города;
- основные условия эксплуатации транспортных средств;
- анализ использования велосипедного транспорта;
- определение уровня велокультуры.

Популяризация велосипедного транспорта формирует предпосылки для сокращения потребностей в движении личного автотранспорта, создающего многочисленные проблемы жителям (рис. 8). За счет сокращения автомобильного транспорта города могут предоставить территорию улиц для использования в других целях, например для перепланировки (рис. 9) [7, 11—13].

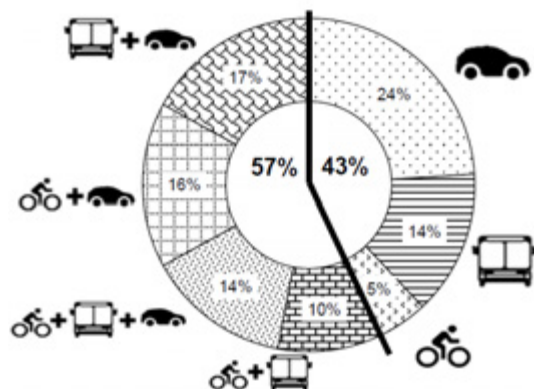


Рис. 9. Комбинирование видов транспорта для ежедневных поездок не реже 1 раза в неделю, Дрезден, 2018 г.

³ СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02—85*. М. : Минрегион России, 2021. 309 с.



Рис. 10. Примерные показатели использования городской территории

В городах, где скорости велосипедных и автомобильных потоков сопоставимы, велополосы обеспечивают в 7...12 раз бóльшую пропускную способность пассажиропотоков, чем полосы для движения личного автотранспорта⁴.

Различные исследования показывают, что при использовании велосипедного транспорта снижается риск получения различных заболеваний. Систематическое использование велосипедного транспорта в качестве основного способа передвижения благоприятно сказывается на физическом здоровье человека, обеспечивается постоянная работа многих групп мышц, полноценная работа легких, что, в свою очередь, предполагает достаточный уровень кислорода в крови. Также упоминается польза использования велосипедного транспорта для работы сердечной мышцы и стимуляции процесса обмена веществ.

Таким образом, для развития безопасного и комфортного велодвижения на всех этапах реализации должны быть обеспечены необходимые условия, например удобный доступ в жилые, коммерческие и производственные комплексы, безопасное движение к учебным заведениям, размещение достаточного количества парковочных мест для велотранспорта, координация веломаршрутов с движением общественного транспорта [14].

Несмотря на внушительный ряд преимуществ, получаемых от развития велотранспортной инфраструктуры, ключевым аспектом велосистемы является обеспечение безопасности участников дорожного движения. В связи с этим на всех стадиях реализации велодвижения необходимо определять степень опасности того или иного участка УДС, который уже является веломаршрутом или где только планируется размещение [15].

При оценке опасности веломаршрутов применяется 4-уровневая градация. Для оценки степеней опасности участков дорог и улиц, по которым проходят (будут проходить) велосипедные маршруты, сначала определяются ориентировочные скорости и интенсивности движения автотранспорта. Далее улица разбивается на прямолинейные участки и перекрестки, для которых определяются степени опасности в зависимости от типа велодорожки, скорости и интенсивности движения (рис. 11) [16].

⁴ ГОСТ Р 52289—2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. М. : Стандартинформ, 2019. 134 с.



Рис. 11. Оценка опасности веломаршрута

По состоянию на сегодняшний день на территории Волгограда отсутствует полноценная велотранспортная инфраструктура, существующие элементы функционируют разрозненно и частично не выполняют возложенных на них функций.

Учитывая преимущества велотранспортных систем и необходимость их развития, в качестве решения определены алгоритмы процесса внедрения велотранспортной инфраструктуры с последующей разработкой критериев выбора элементов обустройства [17].

Данные алгоритмы позволят улучшить процесс проектирования и осуществить планирование в более короткие временные сроки.

При организации велотранспортной инфраструктуры необходимо выполнение определенных этапов, включающих в себя сбор исходных данных, разработку веломаршрута с последующей корректировкой. Также осуществляется определение велопарковок [18].

Фиксируются и анализируются геометрические параметры проезжей части, данные интенсивности и состав транспортных потоков, а также интенсивность движения пешеходов. Также необходимо выявить места концентрации дорожно-транспортных происшествий для дальнейшего их предотвращения путем разработки различных мероприятий (рис. 12, 13).

Велотранспортный сегмент УДС — неотъемлемая часть современного общества. Повышение экологического уровня окружающей среды и здоровья населения является важным этапом при внедрении велотранспортной инфраструктуры. Велосипедный транспорт становится популярным и востребованным во многих странах мира, обеспечивая снижение загрузки УДС городов и мегаполисов [2, 14, 39].

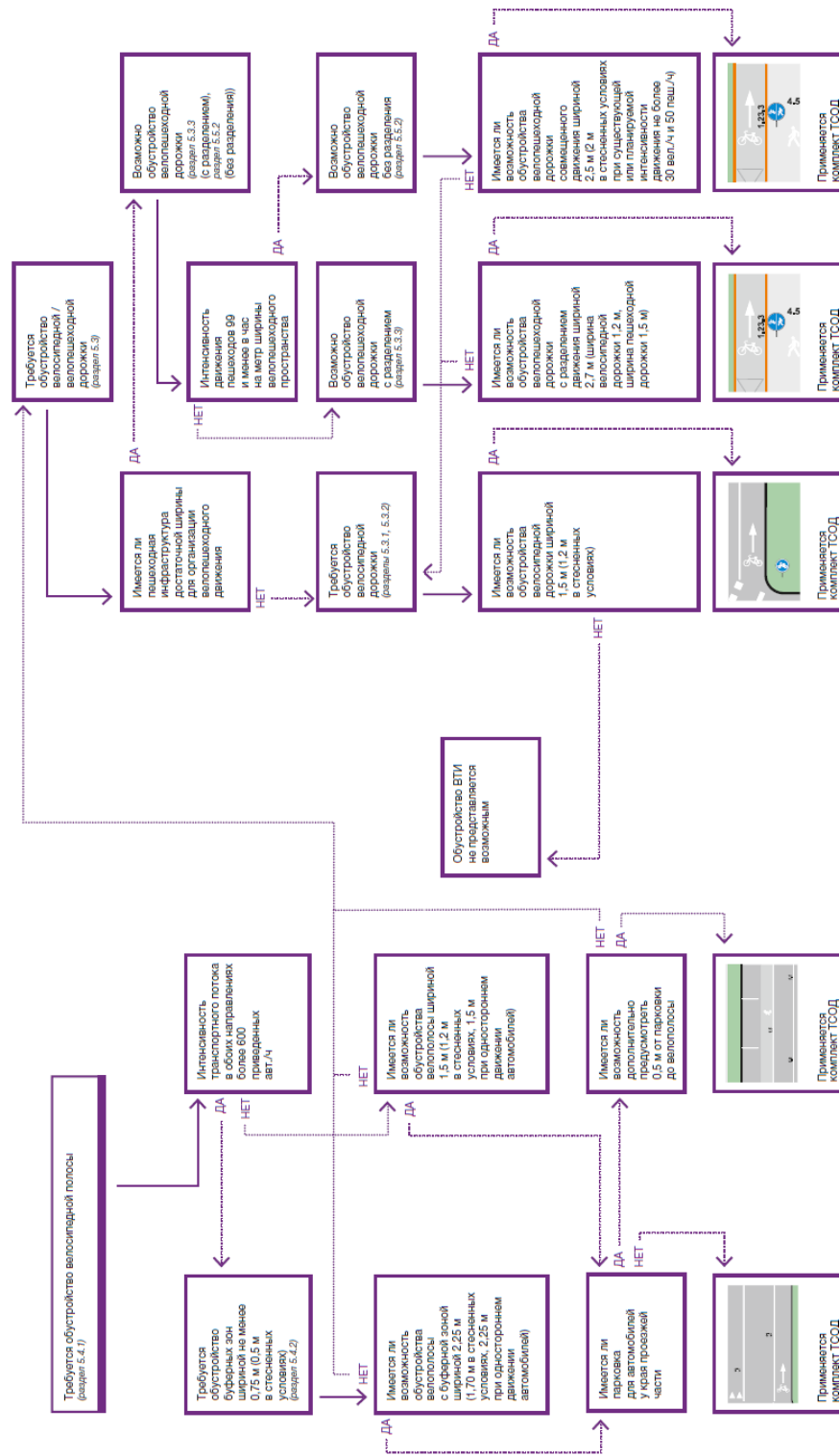


Рис. 12. Процесс организации велосипедного движения на перегоне при интенсивности велосипедного движения до 50 вел./ч

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гальшиев А. Б. Обоснование необходимости развития велосипедного движения в крупных городах // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2013. № 3. С. 102—106.
2. Пивоваров Ю. Л. Урбанизация России в XX веке: представления и реальность // Общественные науки и современность. 2012. № 6. С. 228—239.
3. Жигалина Г. В., Жигалина Э. В., Маркин И. В. Рационализация планировочной организации территории города с учетом размещения велотранспортной инфраструктуры // Градостроительство. 2016. № 1(41). С. 72—83.
4. Трофименко Ю. В., Сова А. Н., Буренин В. В., Гальшиев А. Б. О необходимости развития велосипедного транспорта в крупных городах России // Автомобильный транспорт. 2014. № 3. С. 70—74.
5. Разработка методик и стандартов для объектов транспортной инфраструктуры: пешеходного и велосипедного движения. Анализ зарубежного и отечественного опыта, разработка методики, оценка эффективности и уровня безопасности велосипедного и пешеходного движения : отчет НИР. МАДИ, 2016. 230 с.
6. Dufour D. Cycling Policy Guide: Promoting Cycling for Everyone as a Daily Transport Mode. PRESTO, 2010. 44 p.
7. Боровских О. Н. Развитие велоинфраструктуры как решение транспортных и экологических проблем современного города // Российское предпринимательство. 2017. № 15. DOI:10.18334/rp.18.15.38172.
8. Фоменко Н. А., Нагуманова А. В., Алексиков С. В. Анализ транспортных потоков основных магистралей г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 121—131.
9. Трофименко Ю. В., Гальшиев А. Б. Оценка эколого-экономического эффекта от развития велосипедного движения в крупных городах // Автотранспортное предприятие : отраслевой научно-производственный журнал. 2015. № 4. С. 29—31.
10. Корневский В. В., Мордик Е. А. Оценка геометрических параметров дороги с использованием передвижной дорожной лаборатории // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 48—56.
11. Проектирование городских велодорожек / НАСТО. М. : Альпина нон-фикшн, 2015. 256 с.
12. Евсеева А. И. Мониторинг велосипедного трафика в условиях города // Государственное управление. Электронный вестник. № 64. 2017. С. 82—108.
13. Шелмаков П. С., Шелмаков С. В. Методика оценки эффективности веломаршрута // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 9-1(16). С. 131—134.
14. Шелмаков С. В., Гальшиев А. Б. Оценка эффективности, безопасности и качества велосипедного и пешеходного маршрута : метод. указания к практ. занятиям по курсу «Экотранспорт». М. : МАДИ, 2019. 73 с.
15. Горовенко Д. Б., Горовенко Л. А. Организационные формы транспортного обслуживания в промышленных узлах // Современные инновационные технологии как одно из условий совершенствования науки, производства и образования. Материалы межвузовской научно-практической конференции АЦВО КубГТУ. Т. 2. Армавир : АФЭИ, 2001. С. 122—123.
16. Гальшиев А. Б. Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса за счет развития велосипедного движения: автореф. дис... канд. техн. наук. М. : МАДИ, 2018. 22 с.
17. Гальшиев А. Б. Обоснование необходимости развития велосипедного движения в крупных городах // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2013. № 3. С. 102—106.
18. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. М. : Территория будущего, 2013. 413 с.
19. Лукина А. Н. Перспективы и ограничения, иллюзии и факты развития велотранспорта в Москве // Russian Journal of Management. 2016. Т. 4. № 3. DOI:10.12737/21954.

© Артемова С. Г., Рожнов Е. Е., Старцева А. Н., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Артемова С. Г., Рожнов Е. Е., Старцева А. Н. Велотранспортная структура города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 73—85.

Об авторах:

Артемова Светлана Георгиевна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; snartemov@mail.ru

Рожнов Евгений Евгеньевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Старцева Александра Николаевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Svetlana G. Artemova, Evgeny E. Rojnov, Alexandra N. Startseva

Volgograd State Technical University

BICYCLE TRANSPORT STRUCTURE OF VOLGOGRAD

The purpose of the work is to determine the algorithms of the process of introducing bicycle transport infrastructure with the subsequent development of criteria for the selection of elements of arrangement on the territory of Volgograd, as well as the proposal of methods for assessing the degree of danger of bicycle routes. The relevance of the research topic and its relationship with the presented material is presented. In turn, the object of the study will be the existing bike routes and individual elements of the cycling infrastructure of Volgograd.

К e y w o r d s: bicycle transport infrastructure, bicycle transport, bike paths, transport safety, bicycle route.

For citation:

Artemova S. G., Rojnov E. E., Startseva A. N. [Bicycle transport structure of Volgograd]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 73—85.

About authors:

Svetlana G. Artemova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; snartemov@mail.ru

Evgeny E. Rojnov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Alexandra N. Startseva — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 624.27

А. В. Макаров, А. А. Васильченко

Волгоградский государственный технический университет

АНАЛИЗ РАБОТЫ РЕЗИНОВЫХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ

Рассматриваются вопросы соответствия используемых в мостостроении опорных частей балочных мостов, имеющих в своем составе деформирующиеся полимеры. В соответствии с расчетной схемой балки должны иметь свободные угловые и линейные перемещения торцевых сечений. Приведены факторы, влияющие на деформации опорной части, расчет этих деформаций с использованием различных алгоритмов. Вычислены величины деформаций для мостовой железобетонной балки.

К л ю ч е в ы е с л о в а: опорная часть, регулируемая опорная часть, деформация, мосты, мостовая балка, сдвиговые деформации, угловое смещение, линейное смещение, смятие.

Важной конструктивной частью пролетных строений мостов являются их опорные части. Виды и конструкции опорных частей определяются, главным образом, системой моста и величиной его пролетов. Под действием физических факторов пролетное строение изменяет свое состояние, что сопровождается перемещением его торцевых сечений. Эти перемещения должны обеспечивать опорные части. В научно-технической литературе приводятся различные классификации опорных частей мостов по целому ряду признаков [1]. Авторы рассматривают один из них — принцип работы опорной части, т. е. за счет чего обеспечивается перемещение торца пролетного строения моста. По этому принципу опорные части можно разделить на следующие типы: деформирующиеся системы, системы скольжения, системы качения. Проанализируем работу деформирующихся систем под действием временной нагрузки и температурного градиента.

Пролетные строения балочных мостов как наиболее распространенные должны отвечать требованиям не только надежности, но и экономичности. Поиск исследователей направлен на использование современных подходов в области проектирования мостов [2], совершенствования расчетов несущих конструкций [3], использования новых материалов при строительстве и реконструкции [4, 5].

В основу расчета железобетонных мостовых балок положена расчетная схема с шарнирными опорами, обеспечивающими свободный поворот и линейное горизонтальное перемещение одного или двух торцевых сечений балки. Если опорные части не позволяют в полной мере обеспечить такие перемещения, то в опорных зонах балки будут возникать изгибающие моменты (от действия временной нагрузки) и растягивающие усилия (от изменений температуры), на которые балка не рассчитывается. Это приводит к образованию поперечных трещин и преждевременному износу конструкций балок и ригеля, что представлено на рис. 1 [6—9].

Деформирующиеся системы должны обеспечивать перемещения торцов, опертых на них конструкций за счет физических свойств эластомеров и пластиков, являющихся их конструктивными элементами, за счет изменения

объема, формы или длины эластомера под нагрузкой. Причем работоспособность опорной части — способность деформироваться не должна зависеть от температуры воздуха. Наиболее используемыми являются резинометаллические опорные части (РОЧ), представленные на рис. 2 и состоящие из чередующихся слоев резины 2 и стальных пластин 1, объединенных с помощью клея в процессе вулканизации. РОЧ являются нерегулируемой опорной частью и не могут выставляться на заданную температуру, что ограничивает их применение. РОЧ обычно применяются в качестве опорной части мостов небольших пролетов.



Рис. 1. Износ конструкций: *a* — разрушение торца балки; *b* — разрушение ригеля

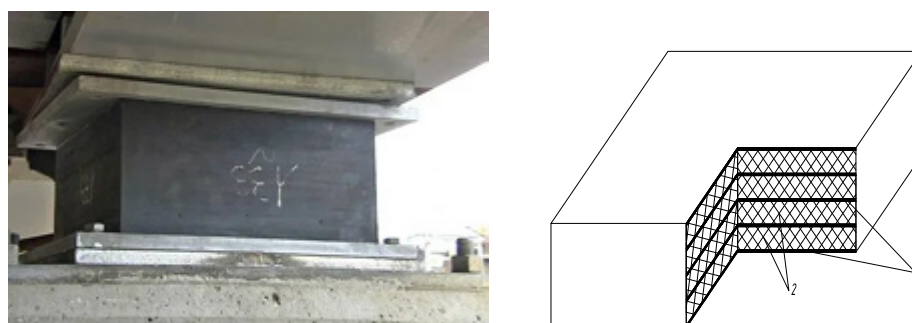


Рис. 2. РОЧ: *a* — вид РОЧ; *b* — конструкция

Слои резины, обжимаясь под нагрузкой, способствуют повороту верхней грани опорной части, как показано на рис. 2. При действии температурного градиента верхняя грань РОЧ смещается относительно нижней также за счет деформации резиновых слоев.

Основная **цель** данной работы — проверить способность опорных частей обеспечивать перемещения торцевых сечений балочных систем за счет деформирования полимерных материалов.

Вычислим поворот торцевой грани разрезной балки пролетного строения моста с использованием дифференциального уравнения изогнутой оси:

$$y'' = \frac{M}{EI}. \quad (1)$$

Балка длиной l , нагруженная равно распределенной нагрузкой q , деформируясь, оказывает давление на опорную часть (рис. 3). Нагрузка q здесь представляет собой загрузку балки полной нагрузкой и состоит из $q_{\text{пост}}$ — собственного веса, q_a — равномерно распределенной полосовой нагрузки АК и $q_{\text{АТ}}^{\text{ЭКВ}}$ — эквивалентной тележечной нагрузки. Расчетная схема балки представлена на рис. 4.

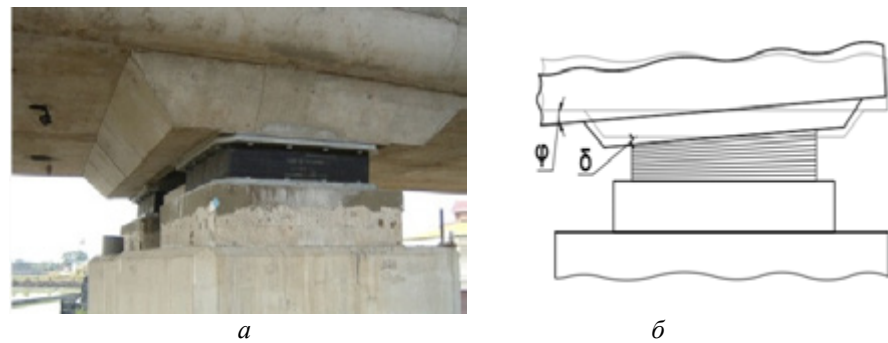


Рис. 3. Работа опорной части на смятие: *a* — вид; *б* — схема: φ — поворот сечения, δ — смятие резинового слоя

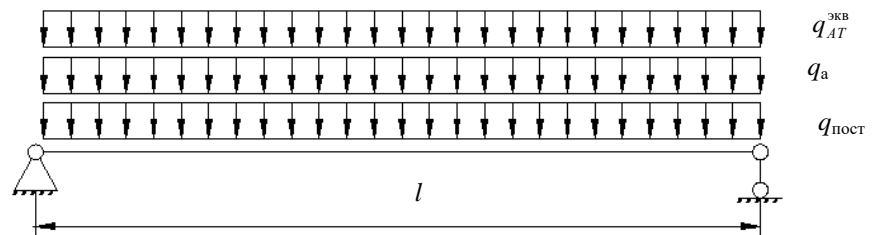


Рис. 4. Расчетная система мостовой балки

Выражение изгибающего момента в сечении запишется в виде:

$$M = \frac{ql}{2}x - \frac{qx^2}{2} = \frac{q}{2}(lx - x^2), \quad (2)$$

где

$$q = q_{\text{пост}} + q_a + q_{\text{АТ}}^{\text{ЭКВ}}. \quad (3)$$

Тогда уравнение углов поворота оси балки с постоянным поперечным сечением примет вид:

$$y' = \frac{1}{EI} \int M dx = \frac{1}{EI} \int \frac{q}{2}(lx - x^2) dx = \frac{q}{2EI} \left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{3} \right) + C, \quad (4)$$

где C — постоянная интегрирования, определяется из граничного условия — отсутствия поворота в среднем сечении балки:

$$x = \frac{l}{2}; y' = 0 \Rightarrow 0 = \frac{q}{2EI} \left(\frac{l^3}{8} - \frac{l^3}{24} \right) + C \Rightarrow C = \frac{ql^3}{24EI}. \quad (5)$$

Тогда уравнение углов поворота запишется в виде:

$$y' = \frac{q}{2EI} \left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{3} \right) - \frac{ql^3}{24EI} = \frac{q}{2EI} \left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{3} - \frac{l^3}{12} \right), \quad (6)$$

а поворот торцевого сечения балки составит:

$$\varphi = y_{x=l} = \frac{ql^3}{24EI}. \quad (7)$$

Использование дифференциального уравнения изогнутой оси предполагает учет только изгибающего момента. Кроме изгибающего момента в балке действует другой внутренний силовой фактор — поперечная сила. Определим поворот торцевого сечения балки с учетом двух силовых факторов M и Q , используя метод Мора:

$$\varphi = \int \frac{M_p M_1}{EI} dx + \int \frac{Q_p Q_1 \eta}{GA} dx. \quad (8)$$

Запишем выражение момента и поперечной силы для балки, представленной на рис. 1:

$$M_p = \frac{qx}{2}(l-x), \quad (9)$$

$$Q_p = \frac{ql}{2} - qx. \quad (10)$$

Выражение момента и поперечной силы при единичном нагружении имеет вид:

$$M_1 = \left(1 - \frac{l}{x}\right)x, \quad Q_1 = \frac{M}{l}. \quad (11)$$

Поворот торцевого сечения балки от действия изгибающего момента (первое слагаемое (8)) составит:

$$\varphi_M = \int_0^l \frac{1}{EI} \frac{qx}{2}(l-x) \left(1 - \frac{x}{l}\right) dx = \frac{q}{2EI} \int_0^l x(l-x) dx = \frac{ql^3}{24EI}. \quad (12)$$

Поворот торцевого сечения балки от действия поперечной силы (второе слагаемое (8)) запишется в виде:

$$\varphi_Q = \int_0^l \frac{1}{GA} \left(\frac{ql}{2} - qx \right) = \frac{q}{lGA} \int_0^l \left(\frac{l}{2} - x \right) dx = \frac{q}{lGA} \left(\frac{l}{2}x - \frac{x^2}{2} \right) \Big|_0^l = \frac{q}{lGA} \left(\frac{l^2}{2} - \frac{l^2}{2} \right) = 0. \quad (13)$$

Отсюда видно, что торцевое сечение балки от действия поперечной силы не поворачивается и поворот составит:

$$\varphi = \varphi_M = \frac{ql^3}{24EI}, \quad (14)$$

как и в случае использования дифференциального уравнения изогнутой оси.

Деформирующиеся резиновые слои имеются и в других плоских опорных частях (рис. 5). В опорных частях стаканного типа резиновый слой обеспечивает только поворот торца мостовой балки, а линейное смещение осуществляется скольжением подвижной части по фторопластовым вставкам. Такая опорная часть — регулируемая, может выставляться на температуру окружающей среды, диапазон ее применения шире. Достоинством плоских опорных частей является их устойчивость при малых и средних землетрясениях, что увеличивает безопасность транспортных сооружений в сейсмоактивных районах [10—13].

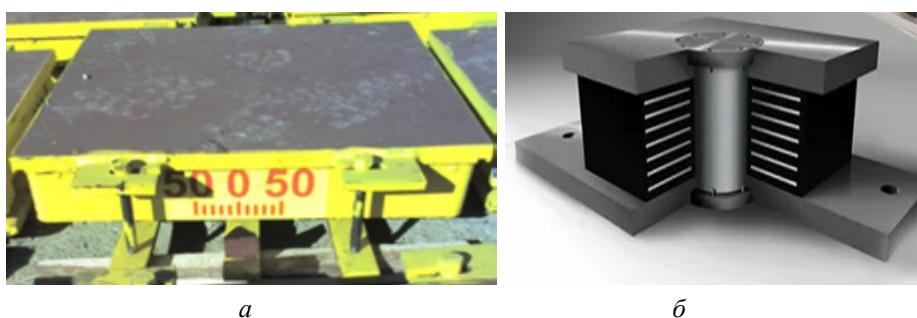


Рис. 5. Опорные части с резиновыми слоями: *а* — стаканного типа; *б* — антисейсмическая

Деформация опорной части, вызванная температурным воздействием, представлена на рис. 6. В этом случае конструкция воспринимает сдвиговые усилия. Линейное смещение, которое должна обеспечивать опорная часть, определяется годовым температурным градиентом ΔT , длиной конструкции l и коэффициентом линейного расширения α по формуле:

$$\Delta_T = \gamma_T \alpha l \Delta T. \quad (15)$$

РОЧ обеспечивает такое смещение за счет сдвиговых деформаций резины.

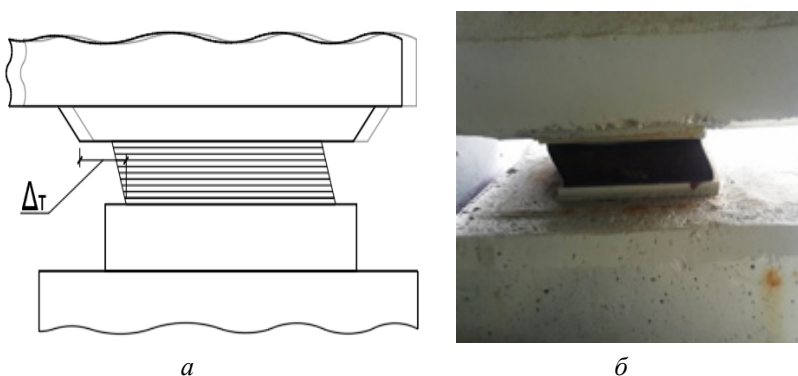


Рис. 6. Линейная деформация РОЧ: *а* — схема; *б* — вид

Для оценки эффективности РОЧ определим ее линейную деформацию, вызванную перемещением торцевого сечения балки пролетного строения путепровода, представленного в [14—16] с пролетом — 18 м, габаритом проезжей части — 11,5 м и тротуарами по 1 м, составленного из 8 тавровых балок. Постоянная нагрузка на погонный метр крайней балки составила $q = 20,35$ кН/м. Временная нагрузка полосовая и тележечная с учетом коэффициентов поперечной установки получена следующая

$$q_{вр} = q_A \eta_A + q_{AT}^{ЭКВ} \eta_{AT} = 14 \cdot 0,38 + 31,72 \cdot 0,448 = 19,53 \text{ кН/м.}$$

Вычислим полное нагружение крайней железобетонной балки:

$$q = q_{пост} + q_{вр} = 39,88 \text{ кН/м.}$$

Подставим значения в полученную ранее формулу (14) и определим действительный поворот торцевого сечения

$$\varphi = \frac{39,88 \cdot 16^3}{24 \cdot 0,052 \cdot 27 \cdot 10^3} = 0,00485 \text{ рад.}$$

Из рисунка 3 видно, что $\text{tg} \varphi \approx \varphi$, тогда $\delta = 30 \cdot 0,00485 = 0,15$ см. Такие небольшие деформации РОЧ вполне обеспечивает.

Для обеспечения свободного линейного смещения торца той же балки определим сдвиговую деформацию резинового слоя при температурном градиенте $\Delta T = 70$ °С. Для железобетона $\alpha = 0,000012$ °С⁻¹:

$$\Delta_T = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1800 \cdot 70 = 0,91 \text{ см.}$$

Деформация каждого слоя резины должна составить 3 мм, что обеспечивается используемыми в мостостроении опорными частями РОЧ.

Выводы

1. РОЧ обеспечивают угловые перемещения в продольном, а линейные — в продольном и поперечном направлениях, что важно для широких пролетных строений.

2. Опорные части с резиновым слоем вполне обеспечивают перемещения пролетных строений с пролетами до 30 м.

3. Отказ в работе опорных частей может быть вызван старением полимера и уменьшением его эластичности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров А. В., Карпов В. С. Рекомендации по подбору опорных частей с целью увеличения срока службы мостового строения // Инженерный вестник Дона. 2017. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4079.

2. Makarov A., Kalinovsky S., Ermilova N., Churakov A. Optimal ratio of spans of continuous bridges // 24th International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment". 2021. P. 03001.

3. Dushko O. V., Voronkova G. V., Rekunov S. S. Bar structures calculation by the method of discrete elements with generalized unknowns in aggressive environments // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. No. 2. P. 7. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022073/pdf>.

4. Makarov A., Kalinovsky S. Design features of bimetallic bridges // E3S Web of Conferences : 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment. 2019. P. 06001.

5. *Makarov A., Rekunov S. S.* Strengthening bridge spans by composite materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 687. 2019. P. 7. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/687/3/033038/pdf>.
6. Обследование мостовых сооружений с помощью современного оборудования / А. В. Макаров, Е. В. Крошнева, А. Ф. Файзалиев, М. А. Павлова, Д. М. Лепехина // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7. С. 10. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7095>.
7. *Рекунов С. С.* Об оценке надежности и восстановлении эксплуатационных качеств мостовых сооружений // Транспортные сооружения. 2016. Т. 3. № 2. С. 7.
8. *Makarov A. V., Kalinovsky S. A., Ereshchenko T. V., Pavlova M. A.* Some aspects of the bridges' functional qualities restoration // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development". 2021. P. 012069.
9. *Elvik R.* Assessing the validity of road safety evaluation studies by analysing causal chains // Accident Analysis and Prevention. 2003. Vol. 35. Iss. 5. Pp. 741—748.
10. *Pshenichkina V. A., Voronkova G. V., Rekunov S. S.* Research of the dynamical system "beam-stochastic base" // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1721—1728.
11. *Pshenichkina V. A., Rekunov S. S., Bazhenov R. I.* Stochastic Process Simulation of Soil Displacement in Calculations of Seismic Resistant Buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 753. 2020. Vol. 2. 7 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/3/032089/meta>.
12. *Макаров А. В.* Основы сейсмостойкости : учеб. пособие. Волгоград: Изд-во ВолГАСУ, 2013.
13. *Макаров А. В.* Безопасность транспортных сооружений в чрезвычайных ситуациях // Безопасность в образовательных и социоприродных системах : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Элиста : Изд-во КГУ им. Б. Б. Городовикова, 2014. С. 240—242.
14. *Кулаев Е. А., Воронкова Г. В.* Реконструкция моста через реку Оленья Волгоградской области // Инженерный Вестник Дона. 2017. № 2. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4168>.
15. *Воронкова Г. В., Пшеничкина В. А.* Применение модели линейно деформируемого стохастического полупространства для расчета системы «балка — неоднородное основание» // Наукоедение. 2014. № 5(24). С. 27.
16. *Николенко М. А., Головань Ю. В.* Анализ причин появления дефектов, влияющих на несущую способность искусственных сооружений, на примере моста км 1009+279 (правый) автомобильной дороги М-4 «Дон» // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3800.

© Макаров А. В., Васильченко А. А., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Макаров А. В., Васильченко А. А. Анализ работы резиновых опорных частей балочных мостов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 86—93.

Об авторах:

Макаров Александр Владимирович — канд. техн. наук, доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; pr.makarov@mail.ru

Васильченко Анжелика Алексеевна – старший преподаватель каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Alexander V. Makarov, Angelika A. Vasilchenko

Volgograd State Technical University

ANALYSIS OF THE OPERATION OF RUBBER BEARING PARTS OF BEAM BRIDGES

The article deals with the issues of conformity of the supporting parts of girder bridges used in bridge building, which have deformable polymers in their composition. In accordance with the design scheme, the beams must have free angular and linear displacements of the end sections. The factors influencing the deformation of the supporting part are given, the calculation of these deformations using various algorithms. The values of deformations for a bridge reinforced concrete beam are calculated.

Key words: bearing part, adjustable bearing part, deformation, bridges, bridge beam, shear deformations, angular displacement, linear displacement, collapse.

For citation:

Makarov A. V., Vasilchenko A. A. [Analysis of the operation of rubber bearing parts of beam bridges]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 86—93.

About authors:

Alexander V. Makarov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; pr.makarov@mail.ru

Angelika A. Vasilchenko — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; t766om@gmail.com

УДК 624.21.09

**Т. К. Акчурина^а, Б. А. Бондарев^б, А. Б. Бондарев^б, П. В. Борков^б,
В. К. Жидков^б, В. А. Баязов^б**

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Липецкий государственный технический университет*

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ОПОР СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Сокращение межремонтных интервалов для конструкций транспортных сооружений происходит в результате утрачивания проектных характеристик традиционных материалов — бетона и железобетона. При этом возникает потребность в оценке остаточного ресурса как отдельных конструкций, так и всего сооружения в целом. Одними из наиболее уязвимых элементов с точки зрения повреждения в эксплуатационный период являются опоры моста. Результаты многочисленных натурных обследований показывают следующие основные виды повреждений в свайных и стоечных опорах: усадочные трещины, силовые трещины, коррозионные трещины вдоль хомутов и рабочей арматуры и т. п. Применение полимерных композиционных материалов в опорах мостовых сооружений с использованием для их изготовления каркасной технологии позволяет получить прочные, коррозионностойкие конструкции, обладающие высокой долговечностью и способностью к сопротивлению усталостным деформациям в материале.

К л ю ч е в ы е с л о в а: опора моста, полимерный композиционный материал, выносливость, трещиностойкость, стеклопластиковая арматура.

Сегодня особую актуальность приобретают вопросы транспортной безопасности. В транспортной системе мостовые сооружения, безусловно, являются самым уязвимым звеном, поэтому изучение их технического состояния необходимо своевременно проводить как по пролетным строениям, так и по опорам.

Исследование конструкций транспортных сооружений, в частности мостов, в которых использованы полимерные композиционные материалы, вызывает неподдельный интерес не только в России, но и за рубежом [1—8]. Это обстоятельство обусловлено прежде всего тем, что традиционные материалы на минеральной основе, такие как бетон и железобетон, использованные для создания большинства конструкций транспортных сооружений в течение последних десятилетий, достаточно быстро утрачивают свои заявленные проектные характеристики, что приводит к значительному сокращению межремонтных интервалов для таких объектов капитального строительства.

Конструкция мостового сооружения состоит из нескольких основных элементов. В Волгограде проведено обследование технического состояния путепровода через железнодорожные пути по ул. Комсомольской в Центральном р-не и путепровода по ул. Менделеева [9] в Краснооктябрьском р-не, которое показало наличие дефектов несущих конструкций, разрушение защитного слоя бетона в опорных частях и пролетных строениях вследствие коррозии рабочей арматуры мостовых сооружений из-за проникновения хлоридов и углекислоты в бетон, наличие трещин и сколов в опорных частях

[9, 10]. Опорные части зачастую переходят в неудовлетворительное состояние из-за многоразовых наслоений асфальтобетона (увеличение нормативной грузоподъемности), превышения нормативной загруженности проезда транспорта по мостовому сооружению. При выявлении значительных повреждений проведен анализ вариантов ремонта опор с дефектами с последующим восстановлением их прочностных показателей. Это, в первую очередь, восстановление защитного слоя бетона в местах сколов, в местах раскрытия из-за вертикальных и косых трещин и т. д.

В Кировском р-не Волгограда путепровод через железнодорожные пути к заводу ЖБИ и ПО «Химпром» приведен в аварийное состояние вследствие провоза многотоннажных грузов (большепролетные фермы и балки и т. п.), что вызвало значительные повреждения конструкций мостового сооружения. Путепровод оказался не рассчитан на значительные нагрузки и был закрыт для проезда автотранспорта. Восстановление путепровода усложняется тем, что он пересекает железнодорожные пути, обеспечивающие движение электропоездов и поездов дальнего следования на юг РФ. В настоящее время проводится анализ вариантов восстановления прочностных характеристик конструкций мостового сооружения (стоек, несущих пролетных строений и т. п.).

В Волгоградской области на автомобильных трассах федерального значения возникают дефекты и значительные повреждения на опорных частях мостовых сооружений. Как правило, такие мосты построены 30...40 лет назад и рассчитаны на проезд автомобилей грузоподъемностью 15...25 т. Сегодня появились автопоезда общим весом 60...80 т, что вызывает повреждение опор и пролетных несущих конструкций. В настоящее время часть таких мостов обследованы, ведется их ремонт.

Одними из наиболее уязвимых элементов с точки зрения повреждения в эксплуатационный период являются опоры моста. Опора моста — это несущий элемент мостового сооружения, поддерживающий пролетные строения и передающий нагрузку от них на основание. Около 70 % мостов и путепроводов — стоечного и свайного типов. Стоечные опоры — это сооружение, часть которого выше обреза фундамента, выполнено из стоек различного сечения, объединенных поверху ригелем, а свайные — это опоры, состоящие из одного или двух рядов свай, объединенных поверху насадкой.

Обеспечение транспортной безопасности является приоритетной задачей при строительстве и эксплуатации мостовых сооружений. Работоспособность конструкций обеспечивается за счет долговечности материалов, из которых они изготовлены. В процессе эксплуатации материалы конструкций нередко утрачивают свои свойства, при этом возникает потребность в оценке остаточного ресурса как отдельных конструкций, так и всего сооружения в целом. Приведен порядок оценки остаточного ресурса опор мостовых сооружений, состоящий из нескольких этапов (рис. 1).

Первый этап — это оценка опасных факторов, оказывающих влияние на материал конструкции. В результате технических обследований стоечных и свайных опор выявлены дефекты и повреждения (рис. 2—6).



Рис. 1. Основные этапы реализации программы по безопасной эксплуатации (ТС)

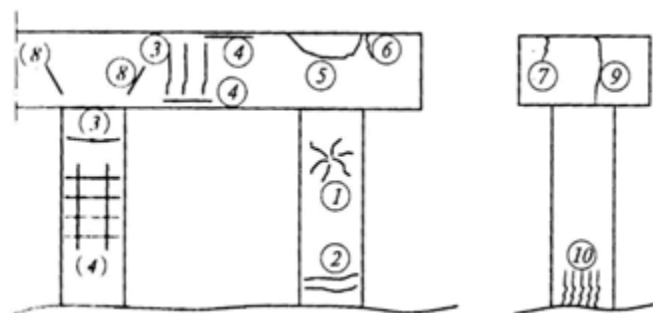


Рис. 2. Основные виды повреждений в свайных и стоечных опорах: 1 — усадочные трещины; 2 — силовые трещины; 3 — коррозионные трещины вдоль хомутов; 4 — коррозионные трещины вдоль рабочей арматуры; 5 — криволинейные трещины в насадках под балками; 6 — силовая трещина в корне консоли насадки в поперечном направлении; 7 — силовая трещина в корне консоли насадки в продольном направлении; 8 — косые трещины от главных растягивающих напряжений; 9 — силовые трещины в торце насадки; 10 — трещины в свае в месте ее входа в грунт или в воду



Рис. 3. Опора 3. Свая № 3. Ряд свай № 1. Разрушение бетона в месте сопряжения сваи с насадкой (мост через р. Делеховка на км (21+851) автомобильной дороги Липецк — Доброе — Чаплыгин с подъездом к с. Филатовка в Добровском р-не Липецкой области)



Рис. 4. Опора 1. Ряд свай № 2. Свая 2. Разрушение защитного слоя бетона. Вертикальная трещина с шириной раскрытия до 6 мм (мост через р. Пальна на км (15 + 110) автомобильной дороги общего пользования регионального значения Становое — Троскурово — Лебедин в Становлянском р-не Липецкой области)



Рис. 5. Опора 1. Столб № 8. Зона сопряжения с ригелем. Скол бетона с обнажением и коррозией арматуры. $S = 0,30 \text{ м}^2$ (мост через р. Ериловка на км (7 + 015) автомобильной дороги общего пользования регионального значения Вербилково — Грязное — Боринское в Липецком р-не Липецкой области)



Рис. 6. Опора 2. Верхняя сторона. Свая 3. Вертикальная трещина (мост по ул. Фрунзе в р-не Комсомольского пруда в Липецке)

На втором этапе устанавливается техническое состояние материалов опор, что включает в себя определение физико-механических характеристик бетона, выявление трещин и их классификацию, установление их параметров (длина, ширина раскрытия, глубина), определение толщины защитного слоя бетона, глубины карбонизации цементного камня, наличия и концентрации хлоридов в толще защитного слоя бетона.

На третьем этапе выполняется анализ вариантов ремонт опор различными способами. Остановимся на некоторых из них:

- конструктивная защита;
- применение специальных цементов;
- использование химических добавок к бетону;
- применение полимерцементных бетонов;
- нанесение защитных покрытий;
- поверхностная пропитка бетонов;
- использование обмазок и битумных пропиток.

Битумные пропитки требуют специального оборудования, сложны технологически, трудоемки. Сама идея пропитки противоречит общей тенденции повышения стойкости бетона к агрессии за счет увеличения его плотности, — пропитка глубже и надежнее, если бетон менее плотен. Эпоксидные многослойные покрытия — самая распространенная защита свайных конструкций от агрессивной среды. Но эти покрытия сложны технологически, трудоемки, дороги. Ряд исследований показал их недостаточную трещиностойкость, значительную потерю адгезионной стойкости к бетону во времени. Тонкие покрытия пропускают агрессивную жидкость к бетону и отслаиваются.

В связи с этим в качестве материала для свайных и стоечных опор предлагается полимерный композиционный материал. В [11—12] предлагается состав полимербетона на основе фурфуролацетонового мономера. Сваи изготавливались длиной 1200 см, сечением 30×35 см, армированные 12 стержнями продольной арматуры периодического профиля диаметром 22 мм класса А-II. Хомуты — из арматуры диаметром 6 мм марки СТ-3 класса А-I. При изготовлении и уплотнении смеси использовалось стандартное оборудование. Термообработка осуществлялась электропрогревом. Режим отверждения: выдержка при температуре 18...20 °С в течение 12 ч, термообработка при 80 °С — 24 ч.

При обследовании опорных частей мостовых сооружений и выявлении серьезных повреждений (наличие продольных и косых трещин, глубокие сколы бетона с обнажением и коррозией арматуры, силовые трещины в торце посадки и т. д.) целесообразно такие места заключать в стальные обоймы с предварительным защитным покрытием из традиционных ремонтных бетонных композиций или полимербетонов. После установки металлические части обоймы защищаются от атмосферной коррозии окрашиванием. Опыт показал, что использование стальных обойм в конструкциях опор повышает их надежность и несущую способность всего мостового сооружения.

Вместе с тем целый ряд исследований [13—18] показывает, что для таких ответственных сооружений целесообразно применять каркасную технологию по изготовлению элементов из полимербетона взамен традиционной. Так при одинаковом наборе компонентов можно получить отличные друг от друга структуры, а использование метода пофазного формования обеспечивает

снижение материалоемкости конструкции и более высокие прочностные показатели.

В таблице приведен состав полимербетона ФАМ с каркасной структурой.

Составы традиционного и каркасного полимербетон

Компоненты	Содержание, кг/м ³	
	Традиционный полимербетон	Каркасный полимербетон
Фурфуrolацетоновый мономер (ФАМ)	250,0	301,3
Щебень гранитный	1300,0	1600,0
Песок кварцевый	700,0	441,3
Андезитовая мука	250,0	406,7
Отвердитель БСК	50,0	71,3

Заключение

Применение полимербетон в конструкциях опор мостовых сооружений с использованием для их изготовления каркасной технологии позволяет получить прочные, коррозионностойкие конструкции, обладающие высокой долговечностью и способностью к сопротивлению усталостным явлениям в материале. Применение данной технологии увеличивает остаточный ресурс поврежденных строительных конструкций мостовых сооружений. На основании полученных экспериментальных данных открывается возможность более обоснованно подходить к реконструкции, усилению или капитальному ремонту существующих транспортных сооружений.

Применение стальных обоек при восстановлении несущей способности и надежности опор со значительными дефектами является эффективным способом восстановления ресурса опорных конструкций мостовых сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bondarev B. A., Borkov P. V., Bondarev A. B. An outlook on the application of glass-reinforced plastic and polymer concrete components in bridge construction // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. Pp. 1617—1622.
2. Kong X., Li Z., Zhang Y., Das S. Bridge Deck Deterioration: Reasons and Patterns // *Transportation Research Record*. 2022. Vol. 2676. Iss. 7. Pp. 570—584.
3. Kossakowski P.G., Wcislik W. Fiber-Reinforced Polymer Composites in the Construction of Bridges: Opportunities, Problems and Challenges // *Fibers*. 2022. Vol. 10. Iss. 4. DOI: 10.3390/fib10040037.
4. Williams M. E. Repair of deteriorated bridge substructures using carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composites // *Advanced Composites in Bridge Construction and Repair*. Woodhead Publishing, 2014. Pp. 265—286.
5. Bondarev B. A., Kosta A. A., Sychev A. Y. Research of Fiberglass Polymer Concrete Switch Bars on Endurance Under Cyclic Loading // *Proceedings of the International Conference Industrial and Civil Construction*. 2021. Vol. 147. DOI: 10.1007/978-3-030-68984-1_43.
6. Qureshi J. A Review of Fibre Reinforced Polymer Bridges // *Fibers*. 2023. Vol. 11. Iss. 5. DOI: 10.3390/fib11050040.
7. Bond Behavior of Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bars Embedded in Concrete Under Mono-tensile and Cyclic Loads / X. Liu, X. Wang, K. Xie, Z. Wu, F. Li // *In 10th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*. 2021. Vol. 198. DOI: 10.1007/978-3-030-88166-5_13.
8. Выносливость полимерных композиционных материалов каркасного типа в элементах конструкций деформационных швов мостовых сооружений / Б. А. Бондарев, А. О. Корнеева,

О. О. Корнеев, А. Г. Саакян, И. А. Востриков // Construction and Geotechnics. 2020. Т. 11. № 3. С. 29—40.

9. Макаров А. В., Калиновский С. А., Ерещенко Т. В., Павлова М. А. Вопросы экономического восстановления эксплуатационных свойств мостов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 96—103.

10. Осипов В. О., Козьмин Ю. Г., Анциперовский В. С., Криста А. А. Содержание и реконструкция мостов. М.: Транспорт, 1975. 240 с.

11. Пальчиков Ю. В. Исследование работы сталеполимербетонных свай: дисс... канд. техн. наук. Воронеж, 1981. 236 с.

12. Корнеев А. Д., Борков П. В., Бондарев А. Б., Прозорова Л. А. Прогнозирование циклической долговечности полимербетонов в элементах конструкций транспортных сооружений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 21(40). С. 72—77.

13. Бондарев А. Б., Борков П. В., Бондарев Б. А., Жариков В. А. Ремонт и восстановление элементов конструкций транспортных сооружений с использованием полимерных композиционных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 17—25.

14. Бондарев А. Б., Борков П. В., Бондарев Б. А., Ключков А. В. Повышение транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений при реконструкции и ремонте // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2017. № 3(23). С. 13—17.

15. Бондарев Б. А., Бондарев А. Б., Борков П. В. Повышение транспортно-эксплуатационного состояния элементов мостовых конструкций // Строительство и реконструкция. 2017. № 5(73). С. 81—85.

16. Бондарев Б. А., Бондарев А. Б., Борков П. В. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений на основе теории риска // Роль опорного вуза в развитии транспортно-энергетического комплекса Саратовской области: сб. науч. тр. по материалам Всероссийской науч.-практ. конф. 2018. С. 269—273.

17. Исследование циклической долговечности стеклопластполимербетона для ремонта и восстановления конструкций транспортных сооружений / Б. А. Бондарев, А. Д. Корнеев, П. В. Борков, А. Б. Бондарев, В. К. Жидков, Д. А. Копалин // Строительные материалы. 2023. № 1-2. С. 11—17.

18. Сопrotивляемость каркасного полимербетона малоцикловому загрузению / Б. А. Бондарев, А. О. Корнеева, А. А. Коста, О. О. Корнеев, П. В. Борков, А. А. Мещеряков // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 1. URL: <https://esj.today/PDF/28SAVN122.pdf>.

© Акчури́н Т. К., Бондарев Б. А., Бондарев А. Б., Борков П. В., Жидков В. К., Баязов В. А., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Применение полимерных композиционных материалов в конструкциях опор сооружений транспортной инфраструктуры / Т. К. Акчури́н, Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, П. В. Борков, В. К. Жидков, В. А. Баязов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 94—102.

Об авторах:

Акчури́н Талгат Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

Бондарев Борис Александрович — д-р техн. наук, проф. каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398069, г. Липецк ул. Первомайская, 57; smidt48@mail.ru

Бондарев Александр Борисович — канд. техн. наук, доц. каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; smidt48@mail.ru

Борков Павел Валерьевич — канд. техн. наук, доц. каф. металлических конструкций, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; borkovpv@mail.ru

Жидков Владимир Константинович — магистрант каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; mailbox@stu.lipetsk.ru

Баязов Вениамин Алексеевич — аспирант каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; mailbox@stu.lipetsk.ru

Talga K. Akchurin^a, Boris A. Bondarev^b, Alexander B. Bondarev^b, Pavel V. Borkov^b, Vladimir K. Zhidkov^b, Veniamin A. Bayazov^b

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Lipetsk State Technical University*

THE USE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN THE CONSTRUCTION OF SUPPORTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE STRUCTURES

The reduction of repair intervals for structures of transport structures occurs as a result of the loss of design characteristics of traditional materials — concrete and reinforced concrete. At the same time, there is a need to assess the residual resource of both individual structures and the entire structure as a whole. One of the most vulnerable elements in terms of damage during the operational period are the bridge supports. The results of numerous field surveys show that the main types of damage in pile and rack supports: shrinkage cracks, force cracks; corrosion cracks along the clamps and working fittings, etc. The use of polymer composite materials in the supports of bridge structures using frame technology for their manufacture makes it possible to obtain strong, corrosion-resistant structures with high durability and the ability to resist fatigue deformations in the material.

Key words: bridge support, polymer composite material, endurance, crack resistance, fiberglass reinforcement.

For citation:

Akchurin T. K., Bondarev B. A., Bondarev A. B., Borkov P. V., Zhidkov V. K., Bayazov V. A. [The use of polymer composite materials in the construction of supports of transport infrastructure structures]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 94—102.

About authors:

Talga K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgsu.ru; Scopus ID: 57190967539

Boris A. Bondarev — Doctor of Engineering Sciences, Lipetsk State Technical University. 57, Pervomaiskaya st., Lipetsk, 398069, Russian Federation; smidt48@mail.ru

Alexander B. Bondarev — Candidate of Engineering Sciences, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; smidt48@mail.ru

Pavel V. Borkov — Candidate of Engineering Sciences, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; borkovpv@mail.ru

Vladimir K. Zhidkov — Master's Degree student, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; mailbox@stu.lipetsk.ru

Veniamin A. Bayazov — Postgraduate student, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; mailbox@stu.lipetsk.ru

УДК 536.212.3

М. О. Баканов^а, И. С. Грушко^б, И. А. Кузнецов^а

^а *Ивановская пожарно-строительная академия ГПС МЧС России*

^б *Южно-Российский политехнический университет им. М. И. Платова*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ДИНАМИКИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА НА СТАДИИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫДЕРЖКИ ПЕНОСТЕКЛА

Рассмотрены вопросы разработки математической модели нелинейной динамики теплопереноса на стадии изотермической выдержки пеностекла с использованием метода микропроцессов и зонального метода. Нелинейный характер теплопереноса определяется процессами структурной релаксации материала во время отжига и наличием пор. Представлены теоретические зависимости, которые позволяют определить изменения безразмерной температуры в пеностекле в процессе его охлаждения. Для этого учитываются данные, полученные с помощью термопар, размещенных в различных местах. Выявлена зависимость распределения температуры в пеностекле и сходимость математической зависимости времени и температуры.

Ключевые слова: пеностекло, отжиг, теплоперенос, метод микропроцессов, моделирование.

Введение

Термическая обработка (ТО) является важным этапом производства пеностекла и включает нагрев сырьевой смеси, вспенивание стекломассы и отжиг. Качество продукта на этом этапе зависит от теплообменных процессов, стабилизации ячеистой структуры и условий отжига. Исследование и контроль этой стадии позволяют управлять эксплуатационными свойствами пеностекла.

Этап ТО является наиболее энергоемким в производстве блочного пеностекла. Энергозатраты на ТО превышают затраты на подготовку сырья более чем в 6 раз и достигают 500...600 кВт·ч на 1 м³ готового изделия [1]. Снижение энергозатрат возможно путем уменьшения материалоемкости форм или выбора оптимальных температурно-временных режимов печи, но для этого необходимо учитывать нестационарный теплоперенос в шихте и распределение температурного поля.

Для учета всех факторов при разработке математического описания переноса тепла в пеностекле можно использовать упрощенные модели, которые учитывают влияние теплоносителя в граничных условиях (ГУ) вместо решения задачи сопряженного переноса теплоты внутри твердого тела и пограничного слоя [2, 3].

Математические модели и методы, представленные в [4], позволяют моделировать процессы ТО пеностекла и решать задачи планирования технологии производства и прогнозирования свойств продукции. Особое внимание уделяется стадии отжига, которая является ключевым этапом производства пеностекла. Задачи оптимизации режимов отжига и их контроля могут быть решены с помощью математического моделирования.

Целью исследования является разработка математической модели прогнозирования нелинейной динамики полей температур на стадии изотермической выдержки (ИВ) пеностекла на основе теории теплопереноса.

В соответствии с поставленной целью решены следующие задачи исследования:

1. Определение условий отжига пеностекла, влияния параметров на стабилизацию структуры, анализ напряженно-деформированного состояния.
2. Исследование математических подходов при описании процесса отжига пеностекла, учитывая влияние температуры на его свойства.
3. Разработка математического описания и исследование процесса охлаждения пеностекла с применением теории теплопереноса.

В процессе ТО пеностекла проявляется эффект «памяти», который включает механическую и тепловую составляющие. Тепловая память играет более важную роль, поэтому необходимо детально изучить особенности режимов отжига для полного понимания и использования этого эффекта в производстве пеностекла. Быстрое охлаждение пеностекла приводит к неравномерному остыванию материала и возникновению остаточных напряжений, негативно влияющих на механическую прочность изделия. Для снятия напряжений проводится отжиг стекла, который также приводит к изменению структуры и свойств материала [5]. Важно учитывать особенности отжига при рассмотрении пеностекла, поскольку оно состоит на 95 % из стекла.

Последовательность этапов процесса отжига стекла включает нагрев или охлаждение изделия до достижения определенной температуры, выдержку при данной температуре, последующее охлаждение по режиму и быстрое охлаждение до температуры окружающей среды (рис. 1).

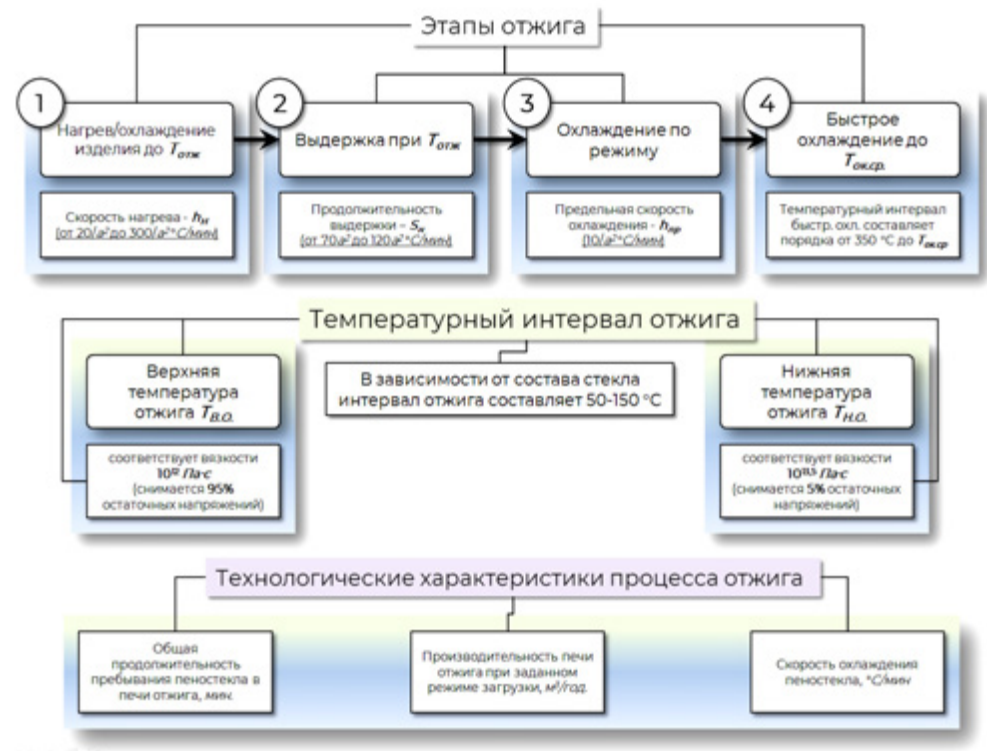


Рис. 1. Структура процесса отжига стекла

Процесс ТО пеностекла (отжиг) осуществляется в определенном интервале температур. Верхняя граница этого интервала определяется как точка, при которой вязкость материала достигает значения 10^{12} Па·с и в течение 3 мин снижается до 95 % от остаточных напряжений. Нижняя граница соответствует вязкости $10^{13.5}$ Па·с, и за 3 мин снимается до 5 % напряжений. Важно отметить, что диапазон температур отжига может варьироваться в зависимости от состава стекла и составляет от 320 до 600 °С [6, 7].

Параметры отжига подвержены влиянию различных факторов, таких как свойства стекла, геометрия и размеры изделий, технологические особенности производства и характеристики печи. При отжиге изделия при комнатной температуре необходим оптимальный нагрев с сохранением формы.

В реальных условиях стекло подвергается нагреву с высокой скоростью. Например, листовое стекло с температурой 20 °С вводят в печь, нагретую до 700 °С. Быстрый нагрев приводит к большим разностям температур и временным напряжениям в стекле. Скорость нагрева может достигать 300 °С/мин.

Скорость нагрева стекла должна быть безопасной, чтобы избежать превышения предела прочности материала. Рекомендуемая скорость нагрева (h_n) зависит от полутолщины листового стекла a и составляет $20/a^2 \dots 30/a^2$ °С/мин. Для стекол низкого качества с пороками скорость нагрева должна быть меньше.

Скорость нагрева стекла также зависит от равномерности распределения температуры, чистоты поверхности стекла, разности толщины и других факторов.

Для равномерности температуры и снятия напряжений проводят выдержку при отжиге. Продолжительность (S_n) зависит от толщины и условий, около $70a^2 \dots 120a^2$ мин.

Исследования отжига пеностекла базируются на различных моделях, анализирующих напряженное состояние образца. Например, в [8] рассмотрены изменения свойств стекла в условиях ИВ, используя уравнение для описания процессов механической релаксации в стеклах:

$$M = \frac{p(t) - p(\infty)}{p(0) - p(\infty)} = \exp \left[- \left(t / \tau_p \right)^{b_p} \right]. \quad (1)$$

Здесь значения свойства p (или другого параметра) в начальный момент времени $p(0)$, в момент времени t — $p(t)$ и в состоянии равновесия $p(\infty)$ представляют собой отклонение системы от равновесия. Параметр τ_p , известный как время структурной релаксации, определяет скорость процесса.

Значение постоянной b_p , которая не превышает 1, определяет время релаксации, увеличивающееся с уменьшением b_p , а параметр τ_p пропорционален вязкости стекла и описывает механическую и структурную релаксацию:

$$\tau_p = \eta / K_p, \quad (2)$$

где K_p — коэффициент пропорциональности.

Для учета релаксационных изменений свойств стекла необходимо учитывать две постоянные — b_p и τ_p .

Для определения вязкости стекла, которая характеризует его способность к вязкой деформации при различных температурах, можно использовать эмпирическое уравнение Фулчера — Таммана [9]. Это уравнение позволяет достаточно точно определить вязкость стекла:

$$\lg \eta = A + \frac{B}{T - T_0}, \quad (3)$$

где A , B и T_0 являются постоянными для данного состава стекла, а T представляет собой температуру в кельвинах.

Уравнение, описывающее общий закон релаксации напряжений в стекле, может быть представлено в виде (1) при постоянной вязкости стекла. Предполагая, что вязкость стекла при бесконечно длительной релаксации равна 0 ($\sigma(\infty) = 0$), уравнение (1) запишем:

$$\sigma(t) / \sigma(0) = \exp\left[-(t / \tau_\sigma)^{b_\sigma}\right]. \quad (4)$$

Для стекол различного состава в интервале температур стеклования вязкость b_σ остается примерно постоянной:

$$\lg \tau_\sigma = \lg \eta - \lg K_\sigma. \quad (5)$$

Один из основных эффектов релаксации структуры стекла при отжиге заключается в изменении длины образца. Изменение длины по закону Гука влияет на напряжения в стекле.

В [11] стекло описывается как ньютоновская жидкость:

$$\tau_{ij} = 2\eta(T)\epsilon_{ij}. \quad (6)$$

Структурная релаксация стекла при охлаждении — нелинейное явление. Однако в переходной области охлаждения для описания изменения свойств стекла можно использовать функцию отклика $M_v(t)$, которая подобна уравнению (1):

$$M_v(t) = \frac{p(t) - p_2(\infty)}{p_2(0) - p_2(\infty)}. \quad (7)$$

Функция отклика $M_v(t)$ отображает изменения свойства p в стекле:

$$M_v(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau_v}\right)^b\right], \quad (8)$$

где τ_v — время структурной релаксации, b — феноменологический параметр.

В данном примере параметр b принимает значения в интервале от 0 до 1. Кроме того, для аппроксимации экспериментальных данных можно использовать экспериментальную формулу (8) в качестве альтернативы:

$$M_v(t) = \sum_{i=1}^n (w_g)_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_{vi}}\right), \quad (9)$$

где τ_{vi} — время релаксации, $(w_g)_i$ — весовые коэффициенты.

Время структурной релаксации зависит от температуры и определяется с помощью модели [12]. Для данной температуры модель выглядит так:

$$\tau_v = \tau_{vref} \exp\left(-\frac{H}{R} \left[\frac{1}{T_{ref}} - \frac{x}{T} - \frac{(1-x)}{T_f} \right]\right), \quad (10)$$

где H — энергия активации, τ_{vref} — время структурной релаксации при T_{ref} , T_f — фиктивная температура, R — универсальная газовая постоянная.

Свойства стекла в текущий момент времени могут быть рассчитаны с использованием следующего уравнения, где фиктивная температура T_f получается из уравнения (10):

$$\frac{1}{p(0)} \frac{dp(t)}{dp} = \alpha_g(T) + [\alpha_1(T_f) - \alpha_g(T_f)] \left(\frac{dT_f}{dT} \right), \quad (11)$$

где α_1 — коэффициент теплового расширения жидких стеклянных материалов, α_g — то же для твердых стеклянных материалов.

В данном исследовании линейная тепловая деформация ε_{th} на этапе охлаждения стеклянных материалов определяется через удельный объем $V(t)$:

$$\varepsilon_{th} = \frac{1}{3} \frac{\Delta V}{V(0)}, \quad (12)$$

где ΔV — удельное изменение объема при стекловании, рассчитываемое по уравнению (11), вследствие изменения температуры.

Уравнения (7)–(12) используют для определения остаточных напряжений в стеклянных образцах. В [13] проведен расчет скорости охлаждения изделий из массивного стекла и пеностекла с использованием формулы из [14]:

$$v = \frac{3R\lambda(1-\mu)}{\alpha E c \gamma d^2} = \frac{3R\lambda(1-\mu)}{\alpha E d^2}. \quad (13)$$

В уравнении для расчета скорости охлаждения изделий из стекла используются следующие параметры: коэффициент термического расширения (α), скорость охлаждения (v), коэффициент Пуассона (μ), максимально допустимые напряжения на поверхности изделия (R), удельная теплоемкость (c), коэффициент теплопроводности (λ), плотность (γ), модуль упругости (E), полутолщина изделий при двустороннем охлаждении (d) и коэффициент температуропроводности ($a = \lambda/c\gamma$).

Авторы, подводя итог обзору актуальных подходов к моделированию процесса отжига пеностекла, придерживаются нескольких основополагающих принципов:

1. Моделирование отжига пеностекла требует учета основных параметров, определяющих его свойства, а именно: вязкости, упругости, релаксации напряжений и структурной релаксации стекла.

2. В процессе отжига пеностекла температура играет решающую роль и оказывает значительное влияние на изменение и контроль временных интервалов.

3. Эффективность ТО пеностекла проявляется при рациональном диаметре ячеек, которые оказывают воздействие на остаточные напряжения.

В имеющихся теоретических моделях учитывается стационарность процесса распределения тепла, но при этом в [15] доказано, что теплоперенос в реальных условиях является нестационарным. Исходя из этого, для разработки оптимальных режимов ТО пеностекла стоит иметь соответствующие знания о распределении температурного поля при нестационарном теплопереносе.

Методы исследования

Ценность решений краевых задач теплопереноса в высокой степени определяется экспериментальными данными, особенно зависимостями коэффициентов переноса, включая теплопроводность, от потенциалов переноса. В отечественной науке существуют 2 основных направления: «зональный» метод и метод «микропроцессов». Оба метода были разработаны для учета изменений тепло- и массопереноса в материале в процессе, зависящих от его влагосодержания и температуры. Авторами использовались основополагающие принципы данных методов.

Для оценки динамики температур при охлаждении пеностекла нужно определить пределы изменений и учесть внешние факторы. Предполагается, что с использованием адекватной модели процесса быстрого охлаждения блока пеностекла можно получить основания для применения данного метода при моделировании других стадий процесса. Требуется провести вычислительный эксперимент с математической моделью для изучения теплопереноса при охлаждении пеностекла. Анализ профиля температур способствует изучению характерных особенностей термических процессов, происходящих в материале.

С целью проведения эксперимента пеностеклянный блок помещен на открытом воздухе на специальной подложке. Расположение термопар в блоке позволяет изучить изменения температуры в его центре и на поверхности и описать особенности изменения температурных показателей на границе взаимодействия блока (рис. 2, 3).

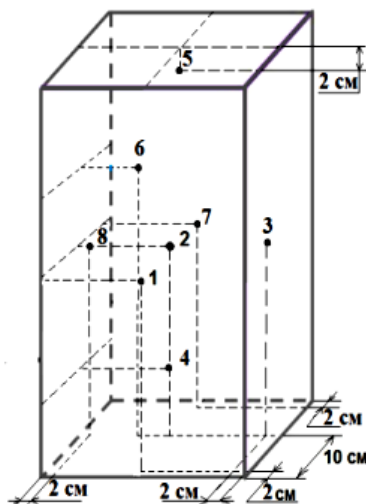


Рис. 2. Расположение термопар на исследуемом образце пеностекла

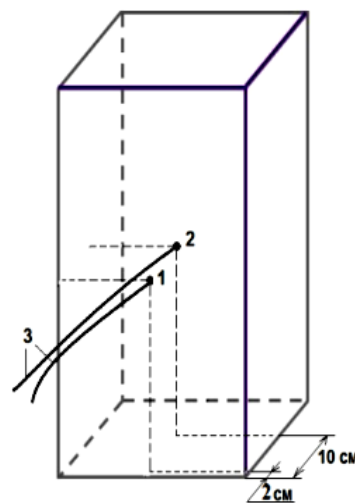


Рис. 3. Расположение термопар в точках № 1 и 2 в пеностеклянном блоке

В процессе ИВ пеностекляного блока наблюдается одинаковая динамика температуры на поверхности и внутри блока с устойчивой разностной привязкой (рис. 4). Это свидетельствует о наличии сложного процесса теплопереноса, учитывая пористую структуру материала, которая задерживает тепло внутри блока. Для координаты x краевая задача теплопроводности может быть представлена нелинейными уравнениями параболического типа:

$$\rho c \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad \tau > 0, 0 \leq x \leq \frac{L}{2}; \quad (14)$$

начальные условия (НУ):

$$t(x, \tau)|_{\tau=0} = t_0(x); \quad (15)$$

граничные условия (ГУ), соответственно I и II рода:

$$t(x, \tau)|_{x=0} = t_n,$$

$$\left. \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=\frac{L}{2}} = 0. \quad (16)$$

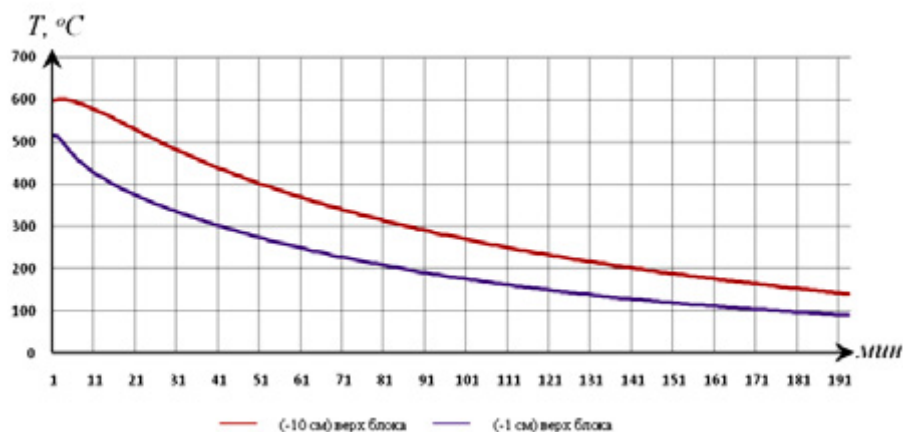


Рис. 4. Зависимость температуры на участках № 1 и 2 от времени в пеностекляном блоке

НУ предполагают произвольное распределение температур в структуре пеностекла в начальный момент времени, которое требуется описать аналитически, а ГУ (16) указывают на одинаковые температуры в зоне, от которой отсчитывается координата x , делая задачу симметричной, и требуется найти решение для сформулированных задач (14)–(16).

Для удобства вводятся безразмерные переменные:

$$T(x, Fo) = \frac{t(x, \tau) - t_0}{t_n - t_0},$$

$$Fo = \frac{a\tau}{(L/2)^2},$$

$$\bar{x} = \frac{x}{L/2}. \quad (17)$$

С учетом введенных безразмерных переменных краевая задача теплопроводности для координаты x (14)–(16) будет иметь следующий вид (18)–(21):

$$\frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}^2},$$

$$Fo > 0,$$

$$0 \leq \bar{x} \leq 1. \quad (18)$$

С учетом введенных безразмерных переменных, НУ задачи теплопроводности для координаты x будут выражены:

$$T(\bar{x}, Fo) = \frac{t(x, \tau) - t_0}{t_n - t_0} = T_0(\bar{x}). \quad (19)$$

ГУ задачи теплопроводности для координаты x :

$$T(\bar{x}, Fo) \Big|_{\bar{x}=0} = \frac{t_n - t_0}{t_n - t_0} = 1; \quad (20)$$

$$\frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=1} = 0. \quad (21)$$

Для эффективного решения краевой задачи теплопроводности рекомендуется применить метод Лапласа. Окончательное решение представлено в уравнении (22):

$$T(\bar{x}, Fo) = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \sin \left[\frac{\pi}{2} (2n-1) \bar{x} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right] +$$

$$+ 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sin \left[\frac{\pi}{2} (2n-1) \bar{x} \right] \cdot \int_0^1 T_0(\xi) \sin \left[\frac{\pi}{2} (2n-1) \xi \right] d\xi \cdot \exp \left[-\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right]. \quad (22)$$

Преобразуя уравнение (22) с учетом уравнения (17), переводим его в размерный вид и получаем:

$$t(x, \tau) = t_n - (t_n - t_0) \cdot \left[\frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \sin \left[\frac{\pi}{2} (2n-1) \cdot \bar{x} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right] + \right.$$

$$\left. + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sin \left[\frac{\pi}{2} (2n-1) \cdot \bar{x} \right] \cdot \int_0^1 T_0(\xi) \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} (2n-1) \cdot \xi \right] d\xi \cdot \exp \left[-\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right] \right]. \quad (23)$$

Результаты

Для проведения численного моделирования предполагается использование начальной температуры пеностекольного блока в диапазоне 600 ± 10 °С,

в то время как температура поверхности, соответствующая температуре воздуха в цехе, составляет 25 ± 5 °С. Расчеты для участка № 1 проводятся в течение 1 мин с числом Фурье 0,001. Графически отображается распределение температурных показателей в блоке, а также функциональная зависимость распределения полей температур в границах 1...90 мин (рис. 5, 6).

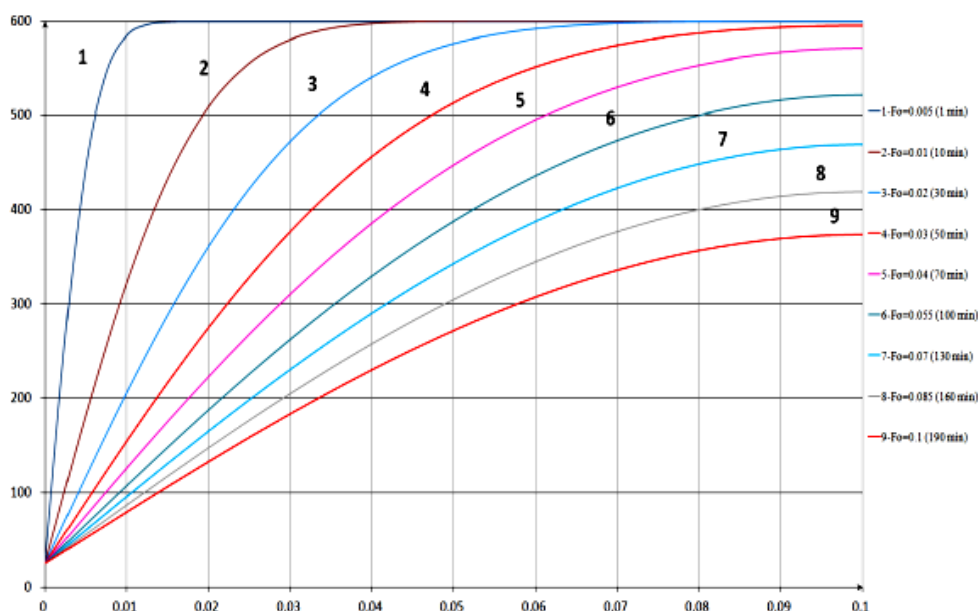


Рис. 5. Поля температур при охлаждении пеностекла

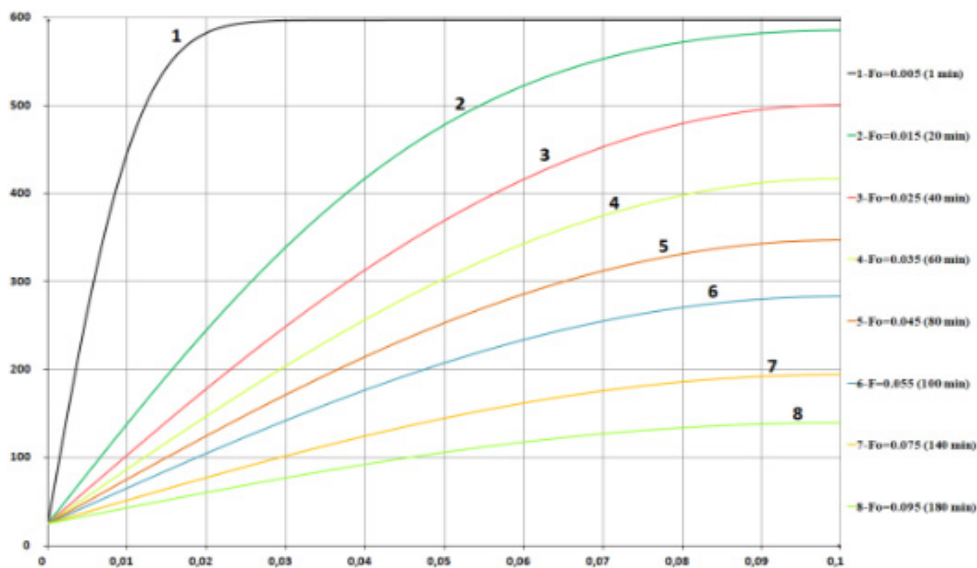


Рис. 6. Поля температур при охлаждении участков пеностекла в центре

Расчеты для участка № 2 проводятся в течение 1 мин с числом Фурье 0,005. Различие значений числа Фурье от поверхности объясняется

наличием градиента температур, что приводит к более быстрому изменению температуры. В расчетах использовалось значение числа Фурье в 3 раза выше, чтобы учесть эту особенность. График распределения показателей температуры в пеностеклянном блоке строится на основе результатов расчета. Из представленных графиков видно, что изменение температуры происходит нелинейно, при охлаждении в начале и стабилизацией после 50 с (рис. 7, 8).

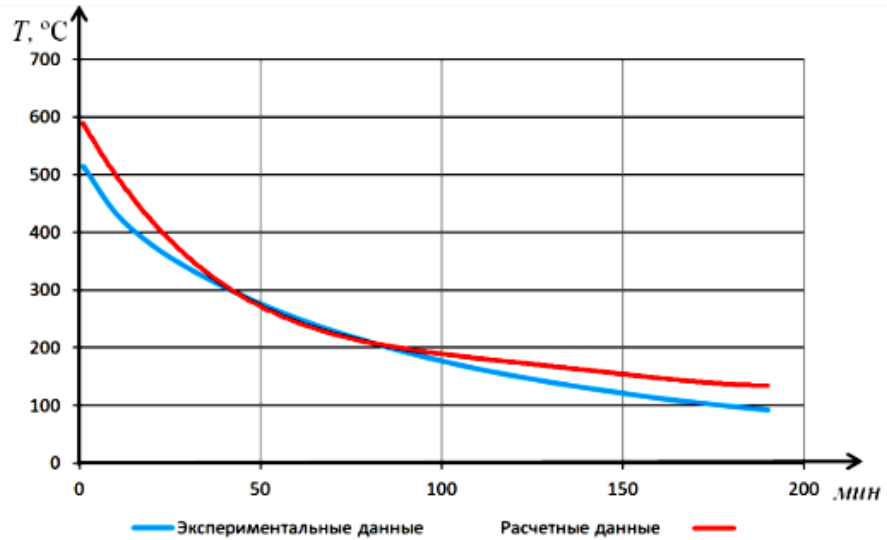


Рис. 7. График, отражающий изменение расчетных и экспериментальных значений температуры на поверхности в течение 190 мин при охлаждении пеностекла

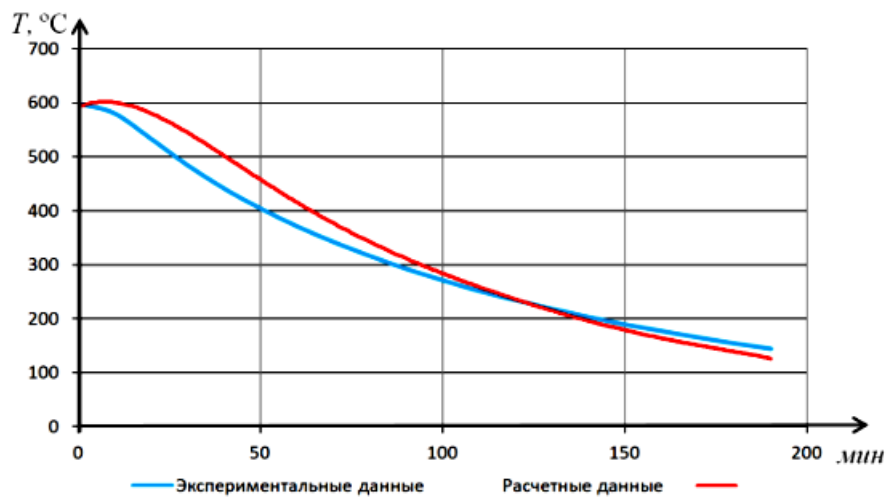


Рис. 8. График, отражающий изменение расчетных и экспериментальных значений температуры в центре в течение 190 мин при охлаждении пеностекла

Графики показывают изменения температуры в центре пеностеклянного блока в течение 190 мин, указывая на нелинейную динамику и сложный теплообмен, связанный с замкнутой структурой пор. Анализ полей температур

в пеностекле при ИВ материала подтверждает соответствие этих зависимостей представлениям о физических процессах, таких как отжиг, и согласуется с данными из литературы, что подтверждает достоверность предложенной математической модели.

Обсуждение и выводы

Разработанная математическая модель представляет первый шаг в описании процессов теплопереноса в пеностекле на стадии отжига. Для более полного описания температурных характеристик пеностекла требуется дальнейшее развитие модели. Анализ результатов расчетов и экспериментальных данных показывает, что предложенная модель способна учитывать нелинейную динамику полей температур на стадии ИВ пеностекла, предоставляя информацию о системе объектов.

Следующие позиции могут быть отражены в качестве основных выводов:

1. Для успешного моделирования процесса отжига пеностекла стоит учитывать его физические свойства: структурные релаксации стекла и напряжений, вязкость и упругость. Эти параметры оказывают значительное влияние на характеристики пеностекла и играют ключевую роль при анализе процессов механической релаксации и напряженно-деформированного состояния образца.

2. Отжиг пеностекла — нестационарный процесс, который требует учета краевых задач теплопереноса и коэффициентов переноса, таких как теплопроводность. Для данного вида задач нет доступных аналитических решений, однако использование методов «микропроцессов» и «зонального» подхода позволяет получить необходимые выражения для проведения расчетов. Температура играет ключевую роль в процессе отжига пеностекла, и ее влияние должно быть учтено при моделировании процесса.

3. Разработанная математическая модель исследует распределение параметров температуры на этапе ИВ пеностекла. Кроме того, она позволяет оценить, насколько функциональна зависимость между временем и температурой, полученная на основе экспериментальных данных, согласуется с моделью. Это имеет важное значение при повышении эффективности процесса отжига и формировании остаточных напряжений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кетов А. А., Толмачев А. В.* Пеностекло — технологические реалии и рынок // Строительные материалы. 2015. № 1. С. 17—23.
2. *Pupeikis D., Stankevičius V., Burlingis A.* The effect of the Fourier number on calculation of an unsteady heat transfer of building walls // Journal of Civil Engineering and Management. 2010. Vol. 16. Iss. 2. Pp. 298—305.
3. *Claesson J.* Dynamic thermal networks: a methodology to account for time-dependent heat conduction // Research in Building Physics. CRC Press, 2020. Pp. 407—415.
4. *Баканов М. О.* Моделирование высокотемпературных процессов в технологии пеностекла. Ч. 2: Формирование пористой структуры на стадии вспенивания // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 3(19). С. 89—102.
5. *Cuesta F. J., Lamúa M.* Fourier series solution to the heat conduction equation with an internal heat source linearly dependent on temperature: application to chilling of fruit and vegetables // Journal of food engineering. 2009. Vol. 90. Iss. 2. Pp. 291—299.
6. *Hensen J. L. M., Nakhi A. E.* Fourier and Biot numbers and the accuracy of conduction modelling // Proceedings of BEP'94 Conference. 1994. Pp. 247—256.
7. Биостойкие строительные композиты на основе отходов стекла / В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, С. Н. Богатова, А. Д. Богатов, С. В. Казначеев // Вестник Волгоградского

государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 16(35). С. 122—126.

8. Шутов А. И., Яиуркаева Л. И., Алексеев С. В., Яиуркаев Т. В. Моделирование структуры теплоизоляционного пеностекла // Стекло и керамика. 2007. № 11. С. 22—23.

9. Tammann V. G., Hesse W. 2. Anorg. Allgem. Chem., 156, 246 (1926); (c) G. S. Fulcher // Journal of the American Ceramic Society. 1925. Vol. 8. P. 339.

10. Chen Y., Yi A., Su L., Klocke F. Numerical simulation and experimental study of residual stresses in compression molding of precision glass optical components // Journal of Manufacturing Science and Engineering. 2008. Vol. 130. Iss. 5. DOI: 10.1115/1.2950062.

11. Narayanaswamy O. S. A model of structural relaxation in glass // Journal of the American Ceramic Society. 1971. Vol. 54. Iss. 10. Pp. 491—498.

12. Демидович Б. К. Пеностекло. Минск : Наука и техника, 1975. 248 с.

13. Даувальтер А. Н. Строение стекла // Стекло и керамика. 1955. № 3. С. 12—17.

14. Королев Е. В., Береговой В. А., Береговой А. М. Исследование влияния характеристик глинистого сырья на свойства пен в технологии пеностеклокерамических материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2012. Вып. 28(47). С. 214—219.

15. Федосов С. В., Баканов М. О. Моделирование процессов теплопроводности и диффузии в телах канонической формы с применением метода «микропроцессов» для области малых значений числа Фурье // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2021. Т. 64. Вып. 10. С. 78—83.

© Баканов М. О., Грушко И. С., Кузнецов И. А., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Баканов М. О., Грушко И. С., Кузнецов И. А. Моделирование нелинейных процессов динамики теплопереноса на стадии изотермической выдержки пеностекла // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 103—115.

Об авторах:

Баканов Максим Олегович — д-р техн. наук, доц., начальник учебно-научного комплекса «Пожаротушение», Ивановская пожарно-строительная академия ГПС МЧС России. Российская Федерация, г. Иваново, пр-т Строителей, 33; mask-B@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8460-9056

Грушко Ирина Сергеевна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения, Южно-Российский государственный политехнический университет им. М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; grushkois@gmail.com

Кузнецов Илья Александрович — научный сотрудник учебно-научного комплекса «Пожаротушение», Ивановская пожарно-строительная академия ГПС МЧС России. Российская Федерация, г. Иваново, пр-т Строителей, 33; ORCID: 0000-0001-8460-9056

Maksim O. Bakanov^a, Irina S. Grushko^b, Ilya A. Kuznetsov^a

^a *Ivanovo Fire and Construction Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*

^b *Platov South-Russian State Polytechnic University*

MODELING OF NONLINEAR PROCESSES OF THE DYNAMICS OF HEAT TRANSFER AT THE STAGE OF ISOTHERMAL HOLDING OF FOAM GLASS

The article examines the development of a mathematical model for non-linear heat transfer dynamics during the isothermal annealing stage of foam glass using the microprocesses and zonal methods. The non-linear nature of heat transfer is determined by the structural relaxation processes of the material during annealing and the presence of pores. The study presents theoretical dependencies that

allow determining the variations in the dimensionless temperature in foam glass during the cooling process. The data obtained from thermocouples in various measurement locations are taken into account. The research reveals the temperature distribution in foam glass and the convergence of the mathematical relationship between time and temperature.

Key words: foam glass, annealing, heat transfer, microprocessing method, modeling.

For citation:

Bakanov M. O., Grushko I. S., Kuznetsov I. A. [Modeling of nonlinear processes of the dynamics of heat transfer at the stage of isothermal holding of foam glass]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 103—115.

About authors:

Maksim O. Bakanov — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Ivanovo Fire and Construction Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 33, Stroiteley Ave., Ivanovo, Russian Federation; mask-B@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8460-9056

Irina S. Grushko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Platov South-Russian State Polytechnic University. 132, Prosveshcheniya st., Novocherkassk, 346428, Russian Federation; grushkois@gmail.com

Ilya A. Kuznetsov — Researcher, Ivanovo Fire and Construction Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 33, Stroiteley Ave., Ivanovo, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-8460-9056

УДК 691.535, 620.22

**М. А. Гончарова^а, Т. К. Акчурин^б, В. В. Дергунова^а, А. Г. Заева^а,
П. В. Монастырев^в, Е. С. Дергунова^а**

^а Липецкий государственный технический университет

^б Волгоградский государственный технический университет

^в Тамбовский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИОДОБАВКАМИ

Карбонат кальция является одним из наиболее известных минералов, которые бактерии откладывают в результате явления, называемого биоминерализацией. Такие отложения недавно появились в качестве перспективных связующих для защиты и уплотнения различных строительных материалов. Осаждение кальцита в бетоне или растворе, усиленное специальными бактериями, стало важной областью исследований в области строительных материалов. Описывается способ повышения прочности и водопоглощения цементно-песчаного раствора путем формирования карбоната кальция в структуре цементной системы за счет биодобавки, содержащей *Sporosarcina pasteurii*. Показано, что улучшение прочности и водопоглощения обусловлено ростом кристаллов кальцита в порах цементно-песчаной матрицы, о чем свидетельствует микроструктура, полученная при сканирующей электронной микроскопии.

К л ю ч е в ы е с л о в а: биоминерализация, прочность, урезные бактерии, портландцемент, биодобавки.

В современном мире портландцементный бетон стал предпочтительным материалом для строительства. В основном это связано с низкой стоимостью материалов для бетонных конструкций и низкой стоимостью обслуживания. Микроорганизмы и опосредованные процессы биоминерализации активны практически во всех средах на Земле [1—4]. В естественных условиях химическое осаждение CaCO_3 ($\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3$) сопровождается биологическими процессами, которые часто происходят одновременно или последовательно. Известно, что микробы из почв и водных сред вызывают осаждение минеральных фаз карбоната кальция как в естественных, так и в лабораторных условиях [3, 4].

Технологии микробиологического осаждения минералов уже использовались для уплотнения песка [5] и повышения прочности кирпичей [6].

Недавно был разработан биоматериал на основе цемента для устранения трещин в бетонных конструкциях [7—12]. Добавление специфических микроорганизмов в цементно-песчаный раствор или бетон вызывает отложение внутри пор матриц неорганических веществ, которые могут быть использованы в качестве заполняющего материала при устранении трещин внутри конструкций [10—15]. Добавление бактериальных клеток с питательной средой, содержащей хлорид кальция и мочевины, в раствор/бетон может увеличить прочность материала на сжатие до 20...35 % по сравнению с контрольной смесью [10—12]. Однако существенного увеличения прочности не происходило, когда в цементный раствор добавляли питательную среду без бактериальных клеток или из-за небольшого количества хлорида кальция в питательной среде. Также необходимо помнить о негативном влиянии хлорид-ионов на состояние цементных систем [16].

Разработка материалов на основе биологически индуцированных цементов, которые смогут продемонстрировать наилучшую долговечность и эффективность заживления трещин по сравнению с обычными бетонными материалами, является актуальной задачей строительного материаловедения.

Целью данной работы является исследование физико-механических свойств цементных систем, модифицированных биодобавками.

Микроорганизмы

В этом исследовании использовался вид бактерий *Sporosarcina pasteurii* (штамм С-68, выделен из почвы соснового леса. Место происхождения: Беларусь, Полесский эколого-радиационный заповедник). Основным достоинством является то, что клетки *S. pasteurii* не агрегируют. Это обеспечивает высокое значение отношения поверхности клеток к объему, — условие, которое важно для эффективного начала биоминерализации.

Питательные среды

S. pasteurii культивировали в аэробных условиях: 10 г/л дрожжевого экстракта, 5 г/л NaCl, 25 ммоль CaCl₂ и 20 г/л мочевины. pH среды доведен перед стерилизацией до 6,55 с помощью 1 моль HCl. Добавка мочевины/CaCl₂ вводилась в биомассу после автоклавирования для предотвращения химического разложения в условиях автоклава.

Иммобилизация микроорганизмов проводилась методом включения в гель. Основной проблемой при получении биодобавок является сохранение уреазной активности биомассы. Решением является иммобилизация клеток бактерий в гель. Каппа-каррагинан — это природный полисахарид, получаемый из различных видов красных морских водорослей. Благодаря методу экструзионной обработки применение каппа-каррагинана позволяет формировать гранулы, сохраняя уреазную активность.

Для получения биодобавок навеску каппа-каррагинана растворяли в горячей воде, остужали до 42 °С, затем приливали активированную биомассу и методом экструзионной обработки получали биогранулы размером 3...4 мм. Затем биогранулы промывали, высушивали до размера 1...2 мм (рис. 1).

Биодобавки в таком состоянии готовы к транспортированию и хранению. Уреазную активность полученных биодобавок определяли по реакции ферментативного гидролиза карбамида под действием уреазы. Зависимость уреазной активности биодобавок и от времени хранения представлена на рис. 2.

В качестве активной биодобавки использовали биодобавку со сроком хранения не более 25 сут, уреазная активность которой составила 57 мг NH₃/г/сут. Оптимальной дозировкой биодобавки принимали такое ее количество, при котором обеспечивается консистенция цементного теста, определяемая расплывом миниконуса не менее 250...255 мм, массовая концентрация составила 2,5 %.

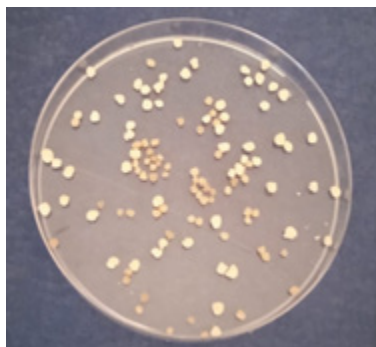


Рис. 1. Высушенные гранулы биодобавки *S. pasteurii*

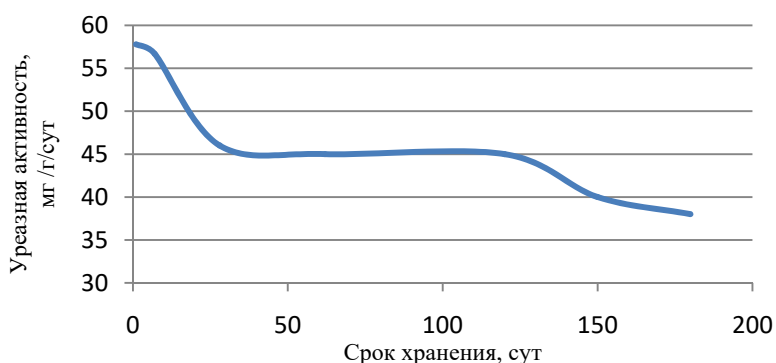


Рис. 2. Зависимость уреазной активности биодобавок от времени хранения

Цементные системы

В качестве вяжущего в стандартной смеси использовались цементы марок: ЦЕМ 0 42,5Н, ЦЕМ I 42,5Б, соответствующие ГОСТ 31108—2003.

В качестве мелкого заполнителя для обычных растворных смесей использовался полифракционный песок, соответствующий ГОСТ 6139—2003 (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав полифракционного песка

Содержание	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
%, масс	97,836	0,846	0,443	0,035	0,011	0,245	0,105	0,120

В растворной смеси использовалась вода технического назначения, соответствующая ГОСТ 23732—2011. Физические испытания образцов бетона проводили по ГОСТ 10180—2012. Маркировка образцов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Маркировка образцов для испытания при различном водоцементном отношении

Наименование образца с добавкой / без добавки	В:Ц
Марка цемента ЦЕМ 0 42,5Н	
1Д /1	0,4
2Д /2	0,5
3Д /3	0,6
4Д /4	0,7
Марка цемента ЦЕМ I 42,5Б	
5Д /5	0,4
6Д /6	0,5
7Д /7	0,6
8Д /8	0,7

Оценка водопоглощения осуществлялась в соответствии с ГОСТ 12730.3—2020. Водопоглощение напрямую зависит от водоцементного соотношения и объема цемента, содержащегося в образце, чем эти показатели

выше, тем большим водопоглощением обладает цементная система. Во время отвердевания происходит уменьшение данного показателя. Измерение водопоглощения проводили путем взвешивания насыщенных водой образцов через каждые 24 ч. Контрольные точки были при сроках отверждения 3, 7, 14 и 28 дней. Водопоглощение (W_a , %) рассчитывали по уравнению:

$$W_a = [(m_2 - m_1) / m_1] \times 100,$$

где m_1 — масса сухого образца, m_2 — масса влажного образца.

Водопоглощение образцов цементного раствора и образцов цементных растворов, содержащих биодобавку, через 3, 7, 14 и 28 дней представлено в табл. 3.

Установлено, что водопоглощение цементного раствора с бактериальными клетками или без них уменьшается со временем отверждения до 28 дней. Это происходит из-за непрерывной гидратации и накопления гидратированных продуктов, которые заполняют открытые поры образцов. Кроме того, значения водопоглощения образцов цементного раствора, смешанных с бактериальными клетками, при всех концентрациях ниже, чем у контрольных образцов. Это можно объяснить тем, что бактериальная биомасса и микробный кальцит осаждаются в порах и на поверхности цементного раствора.

Таблица 3

Водопоглощение образцов цементного раствора

Наименование образца с добавкой/ без добавки	В:Ц	Водопоглощение (W_a , %) при сроках отверждения, не менее дней			
		3	7	14	28
Марка цемента ЦЕМ 0 42,5Н					
1Д /1	0,4	8,0/8,1	7,6/7,7	6,2/6,4	4,0/4,2
2Д /2	0,5	8,2/8,4	8,1/8,3	6,6/6,8	5,0/5,4
3Д /3	0,6	8,6/8,7	8,2/8,3	6,8/6,9	5,1/5,3
4Д /4	0,7	8,8/9,1	8,5/8,7	6,9/7,1	5,3/5,8
Марка цемента ЦЕМ I 42,5Б					
5Д /5	0,4	7,6/7,7	7,2/7,3	6,5/6,3	5,1/5,5
6Д /6	0,5	7,8/7,9	7,3/7,4	6,8/6,9	5,6/5,9
7Д /7	0,6	8,1/8,3	7,9/8,0	6,9/7,1	6,0/6,5
8Д /8	0,7	8,6/8,7	8,0/8,1	7,1/7,6	6,7/7,0

С другой стороны, показатели водопоглощения цементного раствора снижаются с уменьшением водоцементного отношения. Очевидно, что с увеличением В:Ц концентрация бактериальных клеток уменьшается, и, как следствие, уменьшается количество осажденного кальцита, заполняющего некоторые открытые поры и таким образом уменьшающего степень поглощения воды. Водопоглощение линейно пропорционально общей пористости цементного раствора.

Оценка прочности

Значения прочности образцов цементных систем (контрольных и с добавками) на сжатие и на изгиб в возрасте 7 и 28 сут приведены в табл. 4.

Показатели прочности цементных систем с биодобавкой

Образец	Предел прочности, МПа			
	При изгибе в возрасте, сут		При сжатии в возрасте, сут	
	7	28	7	28
Марка цемента ЦЕМ 0 42,5Н				
1Д /1	2,7/2,8	8,8/6,7	24/26	58/43
2Д /2	2,6/2,6	8,1/6,5	23/25	49/41
3Д /3	2,3/2,1	7,1/5,9	20/22	41/38
4Д /4	—/—	6,4/4,9	19/20	39/29
Марка цемента ЦЕМ I 42,5Б				
5Д /5	3,0/2,8	8,9/6,8	28/29	61/45
6Д /6	2,9/2,8	8,2/6,2	24/25	58/42
7Д /7	2,4/2,4	7,3/5,2	20/21	44/35
8Д /8	2,0/—	6,2/4,9	19/20	34/30

Очевидно, что значения прочности образцов, смешанных с бактериальными клетками, выше, чем у контрольных образцов.

Общую тенденцию увеличения прочности при сжатии до 28 сут можно объяснить поведением микробных клеток в матрице цементного раствора для выбранных марок цемента ЦЕМ 0 42,5Н и ЦЕМ I 42,5Б. В течение начального периода отверждения микробные клетки получали хорошее питание, поскольку цементный раствор все еще был пористым, но их рост мог быть неправильным из-за совершенно новой среды для микробов.

Также вероятно, что, поскольку рН цемента оставался высоким, клетки находились в неактивном состоянии, а по мере увеличения периода отверждения они начали медленно расти.

При росте клеток кальцит осаждался бы на поверхности клеток и внутри матрицы цементного раствора. Как только многие поры в матрице закупоривались, поток питательных веществ и кислорода к бактериальным клеткам прекращается, в итоге клетки либо погибают, либо превращаются в эндоспоры и действуют, как органические волокна. С этим связано увеличение прочности образцов цементных систем на сжатие, в т. ч. более высокое значение прочности при сжатии через 28 сут в случае кубиков цементного раствора, приготовленных с микробными клетками.

Наблюдалось заметное увеличение прочности на сжатие кубиков цементного раствора, приготовленных с *S. pasteurii*, что согласуется с результатом, о котором сообщалось в [1—3]. Таким образом, увеличение прочности при сжатии происходит главным образом за счет уплотнения матрицы цементной системы с последующим заполнением пор внутри кубов микробиологически осажденным кальцитом.

С другой стороны, прочность на сжатие уменьшается с увеличением водоцементного отношения на 10...15 % при сравнении образцов с биодобавками и контрольных (рис. 3). В основном это происходит за счет микробного осаждения кристаллов кальцита и последующего заполнения открытых пор. Это связано с тем, что скорость осаждения карбоната кальция уменьшается с увеличением доли воды, что приводит к уменьшению прочности как при сжатии, так при изгибе.

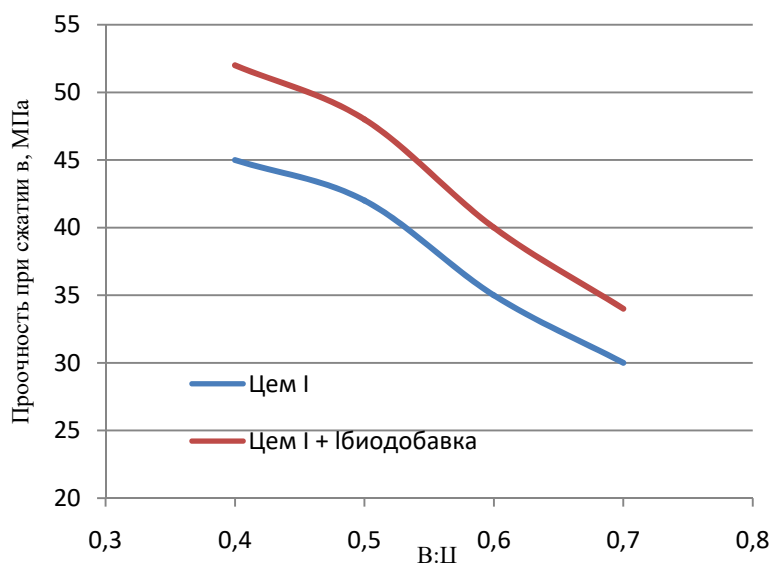


Рис. 3. Зависимость прочности цементного раствора при сжатии с бактериальными клетками и без них от водоцементного отношения на примере марки цемента ЦЕМ 0 42,5Н в возрасте 28 сут

Исследование структуры цементных систем проведено методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Микрофотографии свежеразломанных образцов сделаны с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3LMU в комплекте с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа (EDX) с безазотным детектором ULTIM MAX 40.

SEM-микрофотографии контрольного образца и цементной системы с добавкой бактериальных клеток, выдержанных в течение 28 сут, показаны на рис. 4.

При изучении SEM-изображений видно, что карбонат кальция, осажденный бактериальными клетками, четко различим в порах матрицы образцов; между тем фаза кальцита не наблюдается в контрольных образцах, изготовленных без какого-либо добавления бактериальных клеток.

Применение рентгеновского энергодисперсионного микроанализа позволило показать, что новая фаза, выделяемая бактериальными клетками в матрице образцов, представляет собой карбонат кальция, о чем свидетельствуют преобладающие пики Са, С и О (рис. 5).

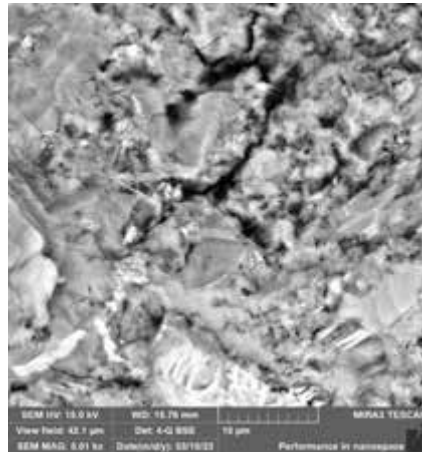
Хотя в ходе исследования получено недостаточно материала, позволяющего четко идентифицировать специфический полиморф, кристаллы, скорее всего, образованы из кальцита, как наиболее стабильной и распространенной формы минерала.

Заключение

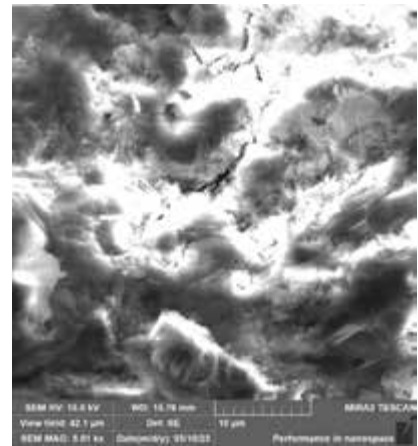
В результате исследования:

- получена биодобавка на основе *Sporosarcina pasteurii* с длительным сроком хранения и высокой биоактивностью;
- определена оптимальная дозировка биодобавки — 2,5 % масс.;

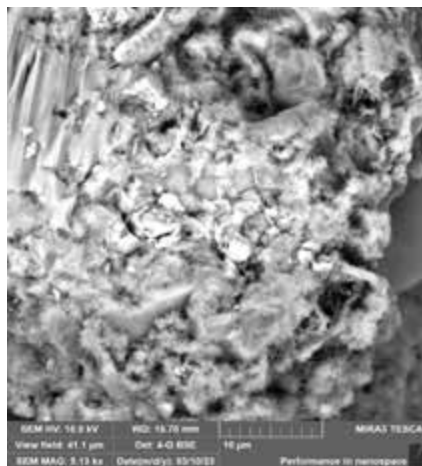
- физико-механические свойства, прочность при сжатии (увеличение до 16...20 %), водопоглощение модифицированного бактериями цементных систем раствора (снижение на 2...3 %) улучшились после введения биодобавок;
- установлено с помощью энергодисперсионного рентгеноструктурного анализа, что новая фаза, получаемая в процессе биоминерализации, является карбонатом кальция.



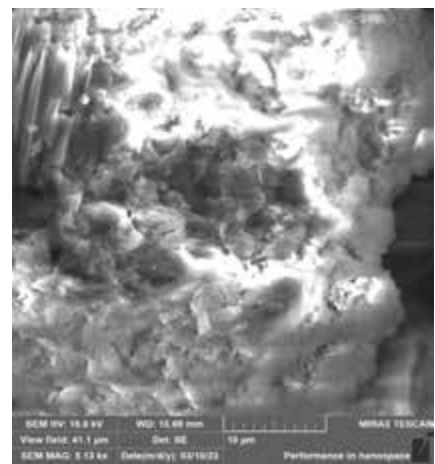
1а



2а



1б



2б

Рис. 4. Микрофотографии контрольных образцов 1 и образцов с добавкой бактериальных клеток 2 через 28 сут: а — система на основе цемента ЦЕМ 0 42,5Н; б — система на основе цемента ЦЕМ 1 42,5Б

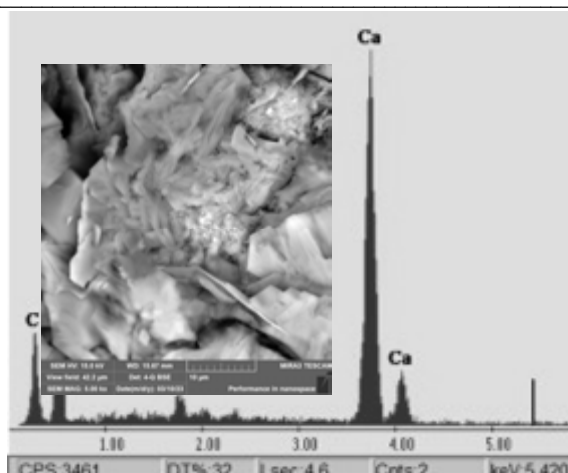


Рис. 5. Энергодисперсионный рентгеноструктурный анализ осажденных бактериальными клетками кристаллов новой фазы

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Применение микробной карбонатной биоминерализации в биотехнологиях создания и восстановления строительных материалов: анализ состояния и перспективы развития / В. В. Строкова, Д. Ю. Власов, О. В. Франк-Каменецкая, У. Н. Духанина, Д. А. Балицкий // *Строительные материалы*. 2019. № 9. С. 83—103.
2. Charpe A. U., Latkar M. V., Chakrabarti T. Microbially assisted cementation — A biotechnological approach to improve mechanical properties of cement // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 135. Pp. 472—476.
3. Гончарова М. А., Дергунова Е. С. Особенности применения процесса биоминерализации для улучшения структурно-прочностных свойств бетона // *Строительные материалы*. 2023. № 1-2. С. 25—31.
4. Состав пропиточного раствора для бактериальной биоминерализации и особенности его взаимодействия с компонентами цементной системы / У. Н. Духанина, Д. А. Балицкий, В. В. Строкова, А. Ю. Есина, А. А. Кузнецова // *Строительство и техногенная безопасность*. 2023. № 28(80). С. 37—44.
5. Aerobic non-ureolytic bacteria-based self-healing cementitious composites: a novel approach without added calcium precursor / L. Tan, J. Xu, Y. Wei, J. Han, W. Yao // *Engineering Research Express*. 2023. Vol. 5. No. 3. 035006.
6. Строкова В. В., Власов Д. Ю., Франк-Каменецкая О. В. Микробная карбонатная биоминерализация как инструмент природоподобных технологий в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2019. № 7. С. 66 — 72.
7. Application of microbial mineralization technology for marine concrete crack repair: A review/ Q. Fan, L. Fan, W.-M. Quach, R. Zhang, J. Duan // *Wolfgang Sand Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 69. 106299.
8. Tziviloglou E., Wiktor V., Jonkers H. M., Schlangen E. Bacteria-based self-healing concrete to increase liquid tightness of cracks // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 122. Pp. 118—125.
9. Bhutange S. P., Latkar M. V., Chakrabarti T. Studies on efficacy of biocementation of cement mortar using soil extract // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 274. 122687.
10. Pei R., Liu J., Wang S., Yang M. Use of bacterial cell walls to improve the mechanical performance of concrete // *Cement and Concrete Composites*. 2013. Vol. 39. Pp. 122—130.
11. Smitha M. P., Suji D., Shanthy M., Adesina A. Application of bacterial biomass in biocementation process to enhance the mechanical and durability properties of concrete // *Cleaner Materials*. 2022. Vol. 3. 100050.
12. Luo M., Qian C. Influences of bacteria-based self-healing agents on cementitious materials hydration kinetics and compressive strength // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. Pp. 659—663.

13. Comprehensive microbiological studies on screening bacteria for self-healing concrete / C. S. S. Durga, N. Ruben, M. S. R. Chand, M. Indira, C. Venkatesh // *Materialia*. 2021. Vol. 15. 101051.

14. Wong L. S. Microbial cementation of ureolytic bacteria from the genus *Bacillus*: a review of the bacterial application on cement-based materials for cleaner production // *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 93. Pp. 5—17.

15. Fouladi A. S., Arulrajah A., Chu J., Horpibulsuk S. Application of Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) technology in construction materials: A comprehensive review of waste stream contributions // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 388. 131546.

16. Розенталь Н. К., Степанова В. Ф., Чехний Г. В. О максимально допустимом содержании хлоридов в бетоне // *Строительные материалы*. 2017. № 1-2. С. 82—85.

© Гончарова М. А., Акчурин Т. К., Дергунова В. В., Заева А. Г., Монастырев П. В., Дергунова Е. С., 2023

Поступила в редакцию
в августе 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Исследование физико-механических свойств цементных систем, модифицированных биодобавками / М. А. Гончарова, Т. К. Акчурин, В. В. Дергунова, А. Г. Заева, П. В. Монастырев, Е. С. Дергунова // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 3-4(92). С. 116—125.

Об авторах:

Гончарова Маргарита Александровна — д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; mgoncharova777@yandex.ru

Акчурин Талгат Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

Дергунова Валентина Витальевна — студентка, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; v123alentina@gmail.com

Заева Анастасия Геннадиевна — аспирант, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; nastenkast08@mail.ru

Монастырев Павел Владиславович — д-р техн. наук, доц., директор института архитектуры, строительства и транспорта, Тамбовский государственный технический университет. Российская Федерация, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112; monastyrev68@mail.ru

Дергунова Елена Сергеевна — канд. хим. наук, доц., Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; dergunova14@yandex.ru

**Margarita A. Goncharova^a, Talgat K. Akchurin^b, Valentina V. Dergunova^a,
Anastasiia G. Zaeva^a, Pavel V. Monastyrev^c, Elena S. Dergunova^a**

^a *Lipetsk State Technical University*

^b *Volgograd State Technical University*

^c *Tambov State Technical University*

INVESTIGATION OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT SYSTEMS MODIFIED WITH BIOADDITIVES

Calcium carbonate is one of the most well-known minerals that bacteria deposit as a result of a phenomenon called biomineralization. Such deposits have recently emerged as promising binders for the protection and sealing of various building materials. Calcite deposition in concrete or mortar, enhanced by special bacteria, has become an important area of research in the field of building materials. This study describes a method for increasing the strength and water absorption of cement-sand

mortar by forming calcium carbonate in the structure of the cement system due to a dietary supplement containing aerobic *Sporosarcina pasteurii*. Because of the research, it is shown that the improvement in strength and water absorption is due to the growth of calcite crystals in the pores of the cement-sand matrix, as evidenced by the microstructure obtained by scanning electron microscopy.

Key words: biomineralization, cement systems, biosubstances, urease activity of bacteria.

For citation:

Goncharova M. A., Akchurin T. K., Dergunova V. V., Zaeva A. G., Monastyrev P. V., Dergunova E. S. [Investigation of physico-mechanical properties of cement systems modified with bioadditives]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 116—125.

About authors:

Margarita A. Goncharova — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; magoncharova777@yandex.ru

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

Valentina V. Dergunova — Student, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; v123alentina@gmail.com

Anastasiia G. Zaeva — Postgraduate student, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; nastenkast08@mail.ru

Pavel V. Monastyrev — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Tambov State Technical University. 112, Michurinskaya st., Tambov, 392032, Russian Federation; monastyrev68@mail.ru

Elena S. Dergunova — Candidate of Chemistry, Docent, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; dergunova14@yandex.ru

УДК 536.24

В. М. Фокин^а, А. В. Ковылин^а, В. Ф. Литвинов^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *ЯрЭлектроМонтаж*

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КОМПЛЕКСА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛНОВОГО ЧИСЛА

Рассмотрен метод определения теплофизических свойств материалов на примере оргстекла. Использован способ, защищенный патентом на изобретение. Для исследования теплофизических свойств образца выбраны два режима измерений: стационарный тепловой и режим с максимальной плотностью теплового потока. Приведены методика экспериментального исследования и расчетные формулы для определения теплопроводности, объемной теплоемкости, температуропроводности, теплоусвоения с использованием волнового температурного числа. Сравниваются результаты измерений теплофизических свойств образца с данными из справочной литературы по оргстеклу. Изучение теплофизических свойств твердых материалов важно для разработки новых материалов и улучшения существующих. Оргстекло выбрано для демонстрации метода определения теплофизических свойств, но метод можно применять и к другим материалам. Результаты исследования могут быть полезными для инженеров и научных работников, занимающихся разработкой материалов и теплообменом.

К л ю ч е в ы е с л о в а: теплофизические свойства, неразрушающий контроль, теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость, теплоусвоение, волновое температурное число.

Авторы рассматривают метод неразрушающего контроля для определения множества различных теплофизических свойств твердых материалов. Метод основан на измерении плотности теплового потока на поверхности образца и времени, в течение которого плотность теплового потока достигает максимального значения. Расчет теплофизических свойств исследуемых образцов основан на определении волновых чисел [1, 2]. Оргстекло для экспериментальных образцов было выбрано как материал с известными теплофизическими свойствами [3—5]. Исследование теплофизических свойств проводилось с помощью прибора ИТП-МГ-250.

Различные методы неразрушающего контроля различных материалов и измерения теплофизических свойств были разработаны отечественными и зарубежными авторами [6—20]. Теоретической основой разработанных методов является физико-математическая модель температурного поля исследуемого объекта при различных видах и режимах тепловых воздействий на него [2].

Предлагаемый метод определения тепловых свойств твердых материалов заключается в следующем. В центр поверхности образца из оргстекла помещается датчик температуры и теплового потока. Затем образец толщиной δ помещался между нагревателем и охладителем в экспериментальной установке, задавались температура нагрева T_n и температура охлаждения T_x [1]. После включения аппарата одновременно регистрируется температура поверхности образца со стороны нагревателя $T_{п1}$ и охладителя $T_{п2}$, а также значение теплового потока $q_{п}$ на поверхности исследуемого образца. Измерения проводятся до достижения устойчивой постоянной температуры [1].

Распределение температуры на поверхности образца $T_{П1}$ на стороне нагревателя и $T_{П2}$ на стороне охладителя и общий тепловой поток $q_{П}$ на стороне нагревателя показаны на рис. 1 [2].

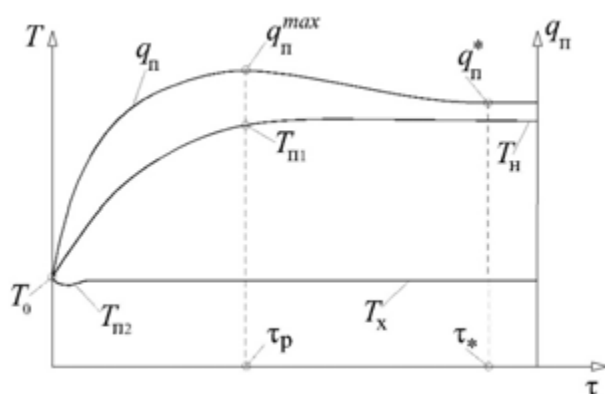


Рис. 1. Теоретическое распределение температуры со стороны нагрева и охлаждения, распределение теплового потока со стороны нагрева образца: T_n — теоретическое распределение температуры оргстекла со стороны нагрева образца, °С; T_x — теоретическое распределение температуры оргстекла со стороны охлаждения образца, °С; $T_{П1}$ — температура со стороны нагрева образца при максимальном значении плотности теплового потока, °С; $T_{П2}$ — температура со стороны охлаждения образца, °С; T_0 — температура образца, °С; $q_{П}$ — теоретическое распределение плотности теплового потока в образце со стороны нагрева, Вт/м²; $q_{П}^{max}$ — максимальное значение плотности теплового потока, Вт/м²; $q_{П}^*$ — плотность стационарного теплового потока, Вт/м²; τ_p — время достижения максимального теплового потока, с; τ_* — время наступления стационарного теплового режима, с

После включения установки температура образца на стороне охлаждения $T_{П2}$ начинает незначительно изменяться и достигает заданного значения T_x , где $T_{П2} = T_x$ становится постоянной. Температура образца $T_{П1}$ со стороны нагрева начинает расти, достигает заданного значения и становится равной температуре нагревателя $T_{П1} = T_n$, т. е. наступает устойчивое тепловое состояние. Тепловой поток $q_{П}$ также начинает изменяться, сначала увеличиваясь со временем и достигая максимального значения $q_{П}^{max}$ в момент времени τ_p , затем тепловой поток уменьшается, стабилизируется и становится постоянным со временем [2].

Представлены некоторые результаты измерений, полученные для двух режимов на установке ИТП-МГ-250:

стационарный тепловой режим, при $q_{П}^*$;

режиме, при котором плотность теплового потока достигает своего максимального значения $q_{П}^{max}$.

1 режим — стационарный, $q_{П}^*$

Эксперимент проводился при начальной температуре образца оргстекла $T_0 = 20,5$ °С. В установке были определены следующие значения: толщина

образца $\delta = 0,0284$ м; начальная температура образца $T_0 = 20,5$ °С; температура нагревателя $T_n = 44,0$ °С; температура холодильника $T_x = 16,0$ °С; плотность теплового потока при наступлении стационарного теплового режима $q_n^* = 196$ Вт/м²; время наступления стационарного теплового режима $\tau_p = 90$ мин (5400 с).

Теплопроводность рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{q_n^* \delta}{T_n - T_x} = \frac{196 \cdot 0,0284}{44 - 16} = 0,199 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \quad (1)$$

где q_n^* — плотность теплового потока при наступлении стационарного теплового режима, Вт/м²; δ — толщина образца, м; T_n — температура нагрева, °С; T_x — температура охлаждения, °С.

Термическое сопротивление:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{T_n - T_x}{q_n^*} = \frac{44 - 16}{196} = 0,143 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}, \quad (2)$$

где δ — толщина образца, м; λ — теплопроводность, Вт/(м·К); T_n — температура нагрева, °С; T_x — температура охлаждения, °С; q_n^* — плотность теплового потока при наступлении стационарного теплового режима, Вт/м²;

Теплоусвоение:

$$B = \frac{2}{R} = \frac{2}{0,143} = 14,0 \text{ Вт}(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (3)$$

где R — термическое сопротивление, (м²·К)/Вт.

Волновое температурное число:

$$k_t = \frac{H}{\delta} = \frac{1,4}{0,0284} = 49,3 (1/\text{м}), \quad (4)$$

где H — безразмерное волновое температурное число в пластине, для стационарного теплового режима $H = 1,4$, доля проникновения температурной волны при этом равна 0,24; δ — толщина образца, м.

Рассчитаем теплопроводность по формуле, в которой используется рассчитанное ранее волновое температурное число:

$$\lambda = \frac{B}{1,41k_t} = \frac{14,0}{1,41 \cdot 49,3} = 0,201 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \quad (5)$$

где B — теплоусвоение, Вт/(м²·К); k_t — волновое температурное число, (1/м).

Рассчитанные значения теплопроводности по формулам (1) и (5), практически равны — 0,199 Вт/(м·К) и 0,201 Вт/(м·К) соответственно.

Объемная теплоемкость:

$$c_p = \frac{B^2 \cdot 2\tau_*}{\lambda \cdot 2\pi} = \frac{B^2 \tau_*}{\lambda \pi} = \frac{14,0^2 \cdot 5400}{3,14 \cdot 0,199} = 1670038 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}), \quad (6)$$

где B — теплоусвоение, Вт/(м²·К); τ_* — время наступления стационарного теплового режима, с; λ — теплопроводность, Вт/(м·К).

Температуропроводность определялась:

$$a = \frac{\pi}{2\tau_*k_T^2} = \frac{3,14}{2 \cdot 5400 \cdot (49,3)^2} = 0,1196 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, \quad (7)$$

где τ_* — время наступления стационарного теплового режима, с; k_T — волновое температурное число, 1/м.

Температуропроводность также определяется по известной формуле:

$$a = \frac{\lambda}{c_p} = \frac{0,199}{1670038} = 0,1192 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, \quad (8)$$

где λ — теплопроводность, Вт/(м·К); (c_p) — объемная теплоемкость, Дж (м³·К).

Расхождение полученных результатов температуропроводности по формулам (7) и (8) составляет десятитысячные доли ($0,1196 \cdot 10^{-6}$ и $0,1192 \cdot 10^{-6}$ м²/с соответственно), т. е. результаты практически равны.

Проведены математические эксперименты для определения величины теплового потока к поверхности образца со стороны нагрева в установившемся режиме и полученного при этом значении безразмерного числа Фурье. В экспериментах на ИТП-МГ-250 установлено, что число Фурье составляет $Fo = 0,8$ на поверхности пластины в начале установившегося теплового режима [2]. Число Фурье рассчитывается по формуле:

$$Fo = \frac{a\tau_*}{\delta^2} = \frac{0,1196 \cdot 5400}{(0,0284)^2} = 0,8, \quad (9)$$

где a — температуропроводность, м²/с; τ_* — время когда наступает установившейся тепловой режим, с; δ — толщина исследуемого образца, мм.

Рассчитанное по (9) значение числа Фурье подтверждает точность разработанного метода измерения и расчета теплофизических свойств в установившемся тепловом режиме.

II режим — максимального теплового потока, q_{II}^{\max}

Во втором режиме экспериментально определяются максимальное значение плотности теплового потока и время его достижения. Полученное значение максимальной плотности теплового потока и температуру поверхности исследуемого образца со стороны нагрева используют для расчета теплофизических свойств: объемной теплоемкости, температуропроводности и теплоусвоения.

Для контроля плотности теплового потока и определения его максимального значения датчик, измеряющий плотность теплового потока, размещается на поверхности испытуемого образца со стороны нагревателя.

В ходе эксперимента тепловой поток увеличивается до максимального значения q_{II}^{\max} . После этого определяется температура поверхности образца на стороне нагрева T_{II} и время τ_p , в которое наступает q_{II}^{\max} .

Используя полученные значения температуры поверхности оргстекла со стороны нагрева и плотности теплового потока, авторы построили график (рис. 2) и по нему находили значение температуры поверхности образца при максимальном значении теплового потока q_{Π}^{\max} .

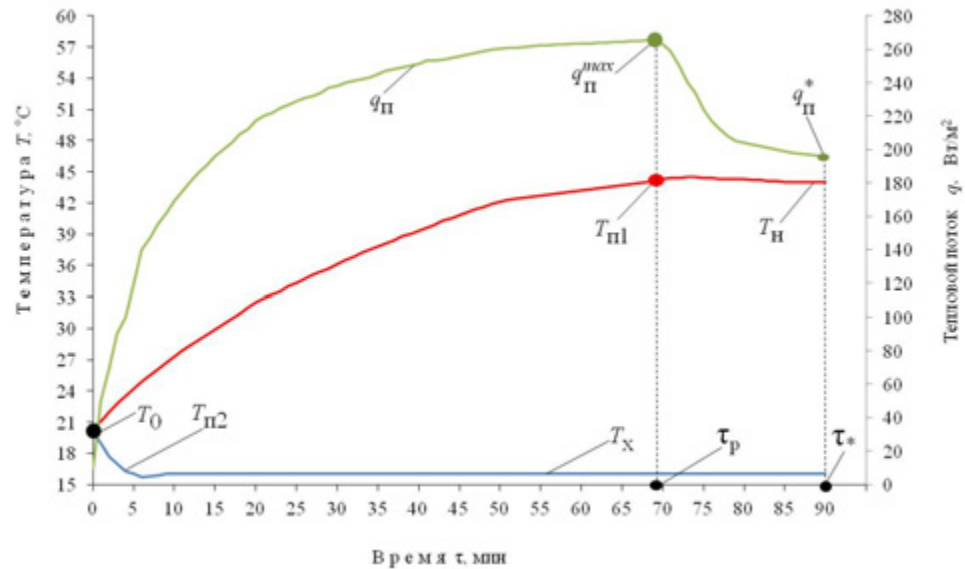


Рис. 2. Экспериментальное распределение температур и теплового потока в образце из оргстекла: T_n — экспериментальное распределение температуры со стороны нагрева, °С; T_x — экспериментальное распределение температуры со стороны охлаждения, °С; $T_{\Pi 1}$ — температура со стороны нагрева при максимальном значении плотности теплового потока, °С; $T_{\Pi 2}$ — температура со стороны охлаждения, °С; T_0 — начальная температура образца, °С; q_{Π} — экспериментальное распределение теплового потока со стороны нагрева, Вт/м²; q_{Π}^{\max} — максимальное значение плотности теплового потока, Вт/м²; q_{Π}^* — плотность теплового потока в момент наступления стационарного теплового режима, Вт/м²; τ_p — время, когда наступит максимальный тепловой поток, с; τ_* — время наступления стационарного теплового режима, с.

Максимальная амплитуда колебаний температурной полуволны на поверхности материала со стороны нагрева вычисляли по формуле:

$$\vartheta_n^{\max} = 0,5(T_{\Pi 1} - T_0), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (10)$$

где $T_{\Pi 1}$ — температура измеряемой поверхности образца со стороны нагрева при максимальном значении теплового потока, °С; T_0 — начальная температура образца, °С.

Теплоусвоение вычисляли по формуле:

$$B = \frac{q_{\Pi}^{\max}}{\vartheta_n^{\max}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (11)$$

где q_{Π}^{\max} — максимальная плотность теплового потока, Вт/м²; ϑ_n^{\max} — максимальная амплитуда колебаний температурной полуволны, °С.

Объемная теплоемкость:

$$c_p = \frac{B^2 z}{\lambda \cdot 2\pi}, \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}), \quad (12)$$

где B — теплоусвоение, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; z — время, за которое тепловой поток достигнет максимального значения ($z = \tau_p$), с; λ — теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Температуропроводность вычисляли по формуле (8).

Для определения тепловых свойств исследуемого образца задавались значения условий, при которых испытывался образец. В вычислительном устройстве установили толщину образца $\delta = 0,0284$ м; начальную температуру образца $T_0 = 20,5$ °С; температуру нагревателя $T_n = 44,0$ °С; температуру холодильника $T_x = 16,0$ °С.

В экспериментальной установке были определены тепловые свойства образца: максимальная плотность теплового потока $q_n^{\max} = 265,4$ $\text{Вт}/\text{м}^2$ при времени $\tau_p = 69$ мин, температура образца со стороны нагрева при максимальном значении плотности теплового потока $T_{\text{Пл}} = 44,1$ °С, плотность теплового потока при достижении стационарного теплового режима $q_n^* = 196$ $\text{Вт}/\text{м}^2$, время наступления стационарного теплового режима $\tau_p = 90$ мин.

Получены экспериментальные данные температур и теплового потока, по которым построен график (см. рис. 2).

Максимальную амплитуду колебаний температурной полуволны вычисляли по формуле (10):

$$\vartheta_n^{\max} = 0,5(T_{\text{Пл}} - T_0) = 0,5(44,1 - 20,5) = 11,8 \text{ °С},$$

где $T_{\text{Пл}}$ — температура поверхности образца со стороны нагрева, при максимальном значении теплового потока, °С; T_0 — начальная температура поверхности образца, °С.

Теплоусвоение вычисляли по формуле (11):

$$B = \frac{q_n^{\max}}{\vartheta_n^{\max}} = \frac{265,4}{11,8} = 22,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где q_n^{\max} — максимальная плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$; ϑ_n^{\max} — максимальная амплитуда колебаний температурной полуволны, °С.

Объемная теплоемкость — формула (12):

$$c_p = \frac{B^2 z}{\lambda \cdot 2\pi} = \frac{(22,5)^2 \cdot 4140}{0,199 \cdot 2 \cdot 3,14} = 1677076 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}),$$

где B — теплоусвоение, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; τ_p — время, когда тепловой поток станет максимальным, с; λ — теплопроводность оргстекла в стационарном режиме, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Волновое температурное число из формулы (5):

$$k_\tau = \frac{B}{1,41\lambda} = \frac{22,5}{(1,41 \cdot 0,199)} = 80,2 \text{ 1}/\text{м}, \quad (13)$$

где B — теплоусвоение, Вт/(м²·К); λ — теплопроводность оргстекла в стационарном режиме, Вт/(м·К).

Температуропроводность с использованием рассчитанного волнового температурного числа по (7):

$$a = \frac{\pi}{\tau_p k_T^2} = \frac{3,14}{4140 \cdot (80,2)^2} = 0,1179 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с},$$

где τ_p — время, когда тепловой поток станет максимальным, с; k_T — волновое температурное число, (1/м).

Температуропроводность по формуле (8):

$$a = \frac{\lambda}{c_p} = \frac{0,199}{1670076} = 0,1187 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с},$$

где λ — теплопроводность оргстекла, рассчитанная в стационарном режиме, Вт/(м·К); (c_p) — объемная теплоемкость, Дж/(м³·К).

Расхождение полученных результатов температуропроводности по формулам (7) и (8) составляет тысячные доли — $0,1179 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и $0,1187 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ соответственно, т. е. значения практически равны.

В таблице в приведены теплофизические свойства исследуемых материалов, полученные экспериментально при разных режимах измерений, а также значения из справочной литературы.

Теплофизические свойства оргстекла

Параметр	I режим, q_p^*	II режим, q_p^{\max}	Справочные значения
Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	0,199 0,201	0,199	0,191...0,204
Объемная теплоемкость (c_p), кДж/(м ³ ·К)	1670,0	1677,1	1550...1700
Температуропроводность $A \cdot 10^{-6}$, м ² /с	0,1196 0,1192	0,1179 0,1187	0,11...0,12

Анализ значений теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности оргстекла, приведенных в таблице, показывает, что расхождение между экспериментальными значениями для двух режимов очень мало, т. е. разработанный метод, включающий волновое число и число Фурье, является точным. Сравнение экспериментальных и справочных значений дает расхождение между ними менее 5 %, что свидетельствует о надежности используемого метода.

Выводы

1. Разработанный ранее авторами метод, который позволяет определять теплофизические свойства строительных материалов [1], дополнен измерением плотности теплового потока на поверхности образца и времени достижения им максимального значения, что позволяет определить теплопроводность, температуропроводность и объемную теплоемкость при максимальном значении теплового потока на поверхности пластины до наступления стационарного теплового режима [2].

2. Полученные экспериментальные данные по тепловым свойствам оргстекла различаются со справочными менее чем на 5 %.

3. Теплофизические свойства исследуемых материалов, рассчитанные с использованием двух режимов измерения, показывают низкие расхождения между значениями и высокую точность определения, демонстрируя надежность разработанного метода.

4. Рассчитанные значения теплопроводности, температуропроводности и объемной теплоемкости с помощью волнового числа k_T согласуются со значениями, полученными с помощью метода [1], расхождение составляет не более 5 %.

5. Рассчитанные с помощью волнового числа k_T значения теплопроводности, температуропроводности и объемной теплоемкости согласуются со справочными данными, расхождение составляет не более 5 %.

6. Разработанный авторами метод неразрушающего контроля определения теплофизических свойств с использованием максимального теплового потока $q_{\text{п}}^{\text{max}}$ позволяет в несколько раз сократить время проведения эксперимента по сравнению со стационарным режимом измерений.

7. Рассчитанные значения температуропроводности оргстекла подтверждают математический эксперимент по выявлению безразмерного числа Фурье при наступлении стационарного теплового режима — число Фурье составляет $Fo = 0,8$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин В. М., Ковылин А. В., Усадский Д. Г. Способ неразрушающего контроля комплекса теплофизических характеристик твердых строительных материалов и устройство для его осуществления : пат. № 2767468. Российская Федерация. МПК⁸ G 01 N 25/18. Заявл. 16.03.2021. Оpubл. 17.03.2022. Бюл. № 8.

2. Фокин В. М., Ковылин А. В., Усадский Д. Г. Неразрушающий контроль комплекса теплофизических свойств твердых строительных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 62—71.

3. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент : справочник / Е. В. Аметистов, В. А. Григорьев, Б. Т. Емцев, А. В. Клименко, А. С. Комендантов, Г. К. Круг, А. Б. Кувалдин, Д. А. Лабунцов, В. П. Морозкин, Ю. М. Павлов, В. С. Протопопов, Р. И. Созиев, Е. Е. Тоцкий, В. С. Чистяков, Э. Э. Шпильрайн, В. В. Ягов. М. : Энергоиздат, 1982. 512 с.

4. Катаев В. М., Попов В. А., Сажин Б. И. Справочник по пластическим массам. Т. 1. М. : Химия, 1975. 448 с.

5. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача : учебник для вузов. М. : Энергия, 1975. 488 с.

6. Investigation of the thermophysical characteristics of minerals at various heating parameters / K. M. Shaimerdenova, M. Stoev, G. K. Sekerbayeva, G. A. Bulkairova, D. A. Ospanova, A. S. Tussyrbayeva, A. Rakhmankyzy // Eurasian Physical Technical Journal. 2021. Vol. 18. No. 1. Pp. 70—74.

7. Kovylin A. V., Usadskij D. G., Lepilov V. I. The buildings innovative method fencing thermal regime study // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/5/055026>.

8. Lepilov V. I., Usadskij D. G., Kovylin A. V. Comparative analysis of thermophysical characteristics for screen insulation and building heat-insulating materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 1083. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012077/pdf>.

9. Kuznetsov G. V., Katz M. D. Analysis of conditions for determining the thermophysical characteristics of energetic materials by the laser pulse method // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2016. Pp. 978—982.

10. *Yakushkin I. P.* Development of a module to measure losses through building envelopes for the smart energy-saving ventilation automatic control system // International Journal of Control Theory and Applications. 2016. Pp. 01—07.
11. *Yur'ev B. P., Gol'tsev V. A.* Thermophysical properties of kachkanar titanomagnetite pellets // Steel in translation. 2016. Pp. 329—333.
12. *Dzhuraev D. S., Safarov M. M.* Studies of thermophysical properties of ferrofluids // Measurement Techniques. 2016. Vol. 59. Iss. 7. Pp. 743—746.
13. *Shchukina T. V., Sheps R. F., Burak E. E.* Energy-saving regimes examination during new generation building structures insolation // International Multi-conference on Industrial Engineering and Modern Technologies Electronic Edition. 2018. Pp. 022072.
14. *Kryuchkov O. B., Malenko P. I., Kononov S. S., Kostygova O. V.* The study of the influence of the initial furnace temperature on the temperature drop across the section of a billet using physical modeling // Chernye Metally. 2018. Pp. 34—40.
15. *Фокин В. М.* Научно-методологические основы определения теплофизических свойств материалов методом неразрушающего контроля. М.: Машиностроение—1, 2003. 140 с.
16. *Фокин В. М., Ковылин А. В.* Теоретические основы определения теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности материалов по тепловым измерениям на поверхности методом неразрушающего контроля // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 14(33). С. 123—127.
17. *Усадский Д. Г.* Методы технического контроля эффективных энергетических систем зданий и сооружений // Новая наука: стратегии и векторы развития. 2016. № 4-2(76) С. 181—184.
18. *Чернышов В. Н., Чернышов А. В., Голиков Д. О.* Метод и система оперативного контроля теплофизических характеристик строительных материалов // Контроль. Диагностика. 2010. № 11. С. 34—41.
19. *Ковылин А. В., Фокин В. М.* Методика определения коэффициентов теплопроводности, теплоусвоения, тепловой инерции, температуропроводности и объемной теплоемкости строительных и теплоизоляционных материалов методом неразрушающего контроля // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. Вып. 19(38). С. 112—117.
20. *Фокин В. М., Ковылин А. В.* Способ неразрушающего контроля комплекса теплофизических характеристик твердых строительных материалов : пат. № 2421711. Российская Федерация. МПК⁸ G 01 N 25/00. Заявл. 29.07.2009. Оpubл. 10.02.2011. Бюл. № 4.

© Фокин В. М., Ковылин А. В., Литвинов В. Ф., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Фокин В. М., Ковылин А. В., Литвинов В. Ф. Неразрушающий контроль комплекса теплофизических свойств твердых материалов с использованием волнового числа // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 126—135.

Об авторах:

Фокин Владимир Михайлович — д-р. техн. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Fokinvm@mail.ru

Ковылин Андрей Васильевич — канд. техн. наук, доц. каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; kovulin.andrei@mail.ru

Литвинов Владимир Федорович — директор, ЯрЭлектроМонтаж. Ярославль; Litvinov.montazh@yandex.ru

Vladimir M. Fokin^a, Andrei V. Kovylin^a, Vladimir F. Litvinov^b

^a *Volgograd State Technical University*

^b *YarElektroMontazh*

NON-DESTRUCTIVE TESTING OF THE COMPLEX OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SOLID MATERIALS USING THE WAVE NUMBER

The authors of the article consider a method for determining the thermophysical properties of a solid material, using the example of plexiglass. The research was carried out according to the method for which the patent for the invention was obtained. Experimental research and calculation of the thermophysical properties of the test sample were carried out using two measurement modes, namely: 1) stationary thermal regime; 2) when the maximum heat flux density is reached. The method of experimental research and calculation formulas for determining thermal conductivity λ , volumetric heat capacity (cp), thermal conductivity a , heat absorption B , using the wave temperature number kt are given. A table is also given in which the obtained results of measurements of the thermophysical properties of the sample using two measurement modes are compared with the properties of plexiglass given in the reference literature.

Key words: thermophysical properties, non-destructive testing, thermal conductivity, thermal conductivity, heat capacity, heat absorption, wave temperature number.

For citation:

Fokin V. M., Kovylin A. V., Litvinov V. F. [Non-destructive testing of the complex of thermophysical properties of solid materials using the wave number]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 126—135.

About authors:

Vladimir M. Fokin — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Fokinvm@mail.ru

Andrei V. Kovylin — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Kovylin.andrei@mail.ru

Vladimir F. Litvinov — Director, YarElektroMontazh; Litvinov.montazh@yandex.ru

УДК 69.059

Д. П. Клочков, Ю. Д. Вереникин, О. П. Радченко

Волгоградский государственный технический университет

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И СТОИМОСТИ
РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
НА ОСНОВЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Статья посвящена прогнозированию стоимости восстановительных работ и технического состояния конструктивных элементов объектов капитального строительства на основе информационной базы объектов-аналогов.

Ключевые слова: прогнозирование, ремонтно-восстановительные работы, строительство, техническое состояние конструктивных элементов, статический анализ, метод точечной оценки параметров распределения, стоимость.

В процессе эксплуатации здания или сооружения неизбежно происходит ухудшение технического состояния как отдельных его конструктивных элементов, так и объекта капитального строительства в целом. С учетом того, что не все здания в процессе эксплуатации проходят процедуру периодического капитального ремонта или реставрации, процесс ухудшения технического состояния зданий и сооружений со временем ускоряется и отягощается.

В зданиях со значительным сроком эксплуатации (15 лет и более) прогрессирующее физическое износ конструкций за определенный диапазон времени и отрицательное его влияние на износ здания в целом происходят значительно быстрее по сравнению с новыми объектами капитального строительства [1—4].

Для определения технического состояния зданий и сооружений [5]¹, подлежащих восстановительным работам, сначала необходимо проводить их обследование для выявления технического состояния отдельных конструктивных элементов и зданий в целом [6—13]. После этого выполняется разработка проектной и рабочей документации на объект производства работ [1], определяются мероприятия по восстановительным работам и стоимость данных работ.

При определении количества денежных средств, необходимых для восстановительных мероприятий, проходит целая цепочка допроектных и проектных работ. Одновременно с этим определяется источник финансирования всех выполняемых работ (обследование здания и сооружений, разработка проектной и рабочей документации, а также непосредственно на восстановительные работы), который может быть частным, бюджетным или смешанным.

¹ ВСН 58—88 (р). Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001224>.

ВСН 53—86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051553>.

ГОСТ 31937—2011. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2014. 59 с.

При бюджетном финансировании принципиальное значение имеет программа капитального ремонта, которая определяет перечень зданий и сооружений, подлежащих восстановительным работам, а также сроки и даты выполнения данных работ. Как следствие, в бюджет административного субъекта (город, область, республика и т. д.) необходимо заранее закладывать определенные средства на будущие капитальные ремонты.

Следовательно, наличие информационной базы, основанной на статистическом анализе технического состояния зданий и сооружений и их конструктивных элементов [2], срока эксплуатации данных объектов капитального строительства и стоимости восстановительных работ, позволило бы прогнозировать стоимость планируемых восстановительных работ аналогичных объектов и тем самым определять ориентировочные суммы денежных средств, закладываемые в будущие бюджеты административных субъектов. Таким образом, представляется актуальной разработка информационно-статистической базы по прогнозированию будущей стоимости ремонтно-восстановительных работ объектов капитального строительства, основанной на техническом состоянии аналогичных объектов капитального строительства и их текущей стоимости восстановления [14].

Для достижения поставленной цели авторами статьи проанализированы объекты капитального строительства, представленные стеновой конструктивной системой с диском перекрытия в виде сборных железобетонных плит и с ленточными фундаментами.

Часть зданий и сооружений, используемых в рамках исследования, представлена ниже, техническое состояние зданий определялось в ходе обследования данных объектов капитального строительства (рис. 1—7, табл. 1—7).



Рис. 1. Конторское здание: отдел бюро внедрения Московского НИИ оснований подземных сооружений

Таблица 1

Характеристики конторского здания

Месторасположение объекта	г. Волгоград
Год строительства	1943
Этажность здания, этажей	1 + подвал
Объем здания, м ³	448
Конструктивные элементы здания и их технические состояния	Ленточный фундамент — ограничено работоспособное; кирпичная кладка стен — аварийное; деревянные перекрытия — аварийное; кровля — аварийное (местами отсутствует).
Стоимость восстановления, руб.	32 683 000 (2022 г.)



Рис. 2. Здание котельной

Таблица 2

Характеристика котельной

Месторасположение объекта	г. Курган
Год строительства	1970
Этажность здания, этажей	1
Объем здания, м ³	1785
Конструктивные элементы здания и их технические состояния	Фундамент столбчатый — ограничено работоспособное; несущие стены — ограничено работоспособное; конструкции покрытия — работоспособное; кровля — недопустимое
Стоимость восстановления, руб.	54 856 000 (2022 г.)



Рис. 3. Здание лабораторной базы

Таблица 3

Характеристика лабораторной базы

Месторасположение объекта	г. Сергиев Посад
Год строительства	1950
Этажность здания, этажей	2
Объем строительных работ, м ³	3687
Конструктивные элементы здания и их технические состояния	Ленточный фундамент — работоспособное; наружные и внутренние стены — ограничено работоспособное, местами — аварийное; перекрытия монолитные железобетонные — ограничено работоспособное, местами — аварийное; кровля — аварийное
Стоимость восстановления, руб.	201 316 000 (2022 г.)



Рис. 4. Здание склада

Т а б л и ц а 4

Характеристика здания склада

Месторасположение объекта	г. Ростов-на-Дону
Год строительства	1966
Этажность здания, этажей	1 + подвал
Объем здания, м ³	1700
Конструктивные элементы здания и их технические состояния	Ленточный фундамент — ограничено работоспособное; кирпичная кладка стен — ограничено работоспособное; перекрытия сборные ж/б плиты — ограничено работоспособное; покрытие сборные ж/б плиты — ограничено работоспособное; кровля — ограничено работоспособное
Стоимость восстановления, руб.	74 386 000 (2022 г.)



Рис. 5. Административное здание с производственными помещениями

Т а б л и ц а 5

Характеристика административного здания

Месторасположение объекта	г. Сергиев Посад
Год строительства	1980
Этажность здания, этажей	2
Объем здания, м ³	4320
Конструктивные элементы здания и их технические состояния	Фундамент столбчатый — ограничено работоспособное; несущие стены из бетонных панелей — работоспособное; перегородки кирпичные — работоспособные перекрытия сборные ж/б — работоспособное; сборные ж/б балки перекрытия — работоспособное; кровля — ограничено работоспособное
Стоимость восстановления, руб.	107 620 000 (2022 г.)



Рис. 6. Здание холодных кладовых

Таблица 6

Характеристика холодных кладовых

Месторасположение объекта	г. Ногинск
Год строительства	1964
Этажность здания, этажей	1 + подвал
Объем здания, м ³	1224
Конструктивные элементы здания и их технические состояния	Ленточный фундамент — ограничено работоспособное; несущие стены — недопустимое; стропильная система — недопустимое; кровля — недопустимое.
Стоимость восстановления, руб.	61 910 000 (2022 г.)



Рис. 7. Административно-бытовое здание

Таблица 7

Характеристика административно-бытового здания

Месторасположение объекта	г. Курган
Год строительства	1970
Этажность здания, этажей	3
Объем здания, м ³	2160
Конструктивные элементы здания и их технические состояния	Фундамент ленточный — работоспособное; Несущие стены, стеновое ограждение — ограничено работоспособное; Несущие конструкции перекрытий, покрытия — ограничено работоспособное; Кровля — ограничено работоспособное.
Стоимость восстановления, руб.	61 582 000 (2022 г.)

Для статической обработки данных техническим состояниям зданий были присвоены следующие значения:

- работоспособное состояние — 4;
- ограничено работоспособное — 3;
- недопустимое — 2;
- аварийное — 1.

Результаты обследования отдельных конструктивных элементов, приведенных объектов капитального строительства с учетом их технического состояния представлены в табл. 8.

Таблица 8

Техническое состояние конструктивных элементов, обследованных зданий и сооружений

Техническое состояние	Фундаменты	Стены и перегородки	Перекрытия и покрытия	Кровля
Аварийное	—	2	2	2
Недопустимое	—	1	1	2
Ограничено работоспособное	5	3	2	3
Работоспособное	2	1	2	—

Для определения числовых характеристик случайной величины (техническое состояние отдельных конструктивных элементов) использовался статистический анализ на основе методов точечной оценки параметров распределения случайной величины [3, 12].

Для определения математических ожиданий случайной величины использована следующая формула [15]:

$$M(\bar{X}_B) = \bar{x}_B = \frac{x_1 n_1 + x_2 n_2 + \dots + x_k n_k}{n} = \sum_{i=1}^k x_i n_i,$$

где $M(\bar{X}_B)$ — математическое ожидание, x_B — среднее значение выборки, x_i — отдельные значения, n_i — объем выборки.

По представленной формуле определялись математические ожидания случайной величины для каждого конструктивного элемента (табл. 9):

для фундаментов

$$M(\bar{X}_B) = \bar{x}_B = \frac{0 \cdot 1 + 0 \cdot 2 + 5 \cdot 3 + 2 \cdot 4}{7} = 3,29,$$

для стен и перегородок

$$M(\bar{X}_B) = \bar{x}_B = \frac{2 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 4 \cdot 4}{7} = 2,43,$$

для конструкций перекрытия и покрытия

$$M(\bar{X}_B) = \bar{x}_B = \frac{2 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 4}{7} = 2,57,$$

для конструкций кровельного покрытия

$$M(\bar{X}_B) = \bar{x}_B = \frac{2 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 0 \cdot 4}{7} = 2,14.$$

Таблица 9

Математические ожидания распределения случайной величины

	Фундаменты	Стены и перегородки	Перекрытия и покрытия	Кровля
Математическое ожидание	3,29	2,43	2,57	2,14

Представленные зависимости (рис. 8—11) позволяют делать предварительные прогнозы технического состояния отдельных конструктивных элементов в зависимости от сроков эксплуатации объектов капитального строительства и целесообразности восстановительных или демонтажных работ.

Следует отметить, что прогноз технического состояния зданий и сооружений в данной статье основан на относительно небольшом количестве объектов капитального строительства, и с увеличением выборки исследуемых объектов достоверность прогнозирования будет возрастать.

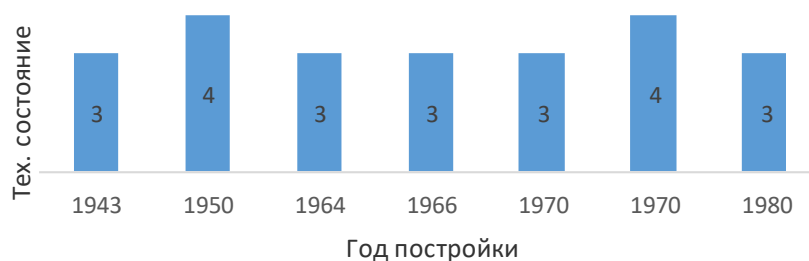


Рис. 8. Зависимость технического состояния фундаментов от года постройки

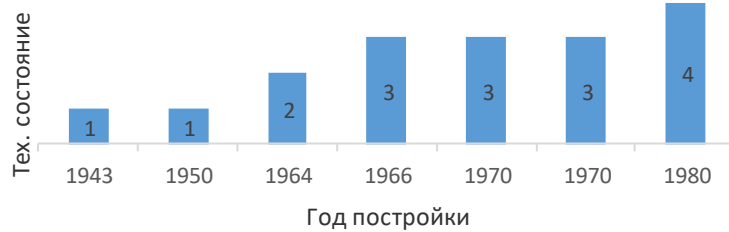


Рис. 9. Зависимость технического состояния стен и перегородок от года постройки

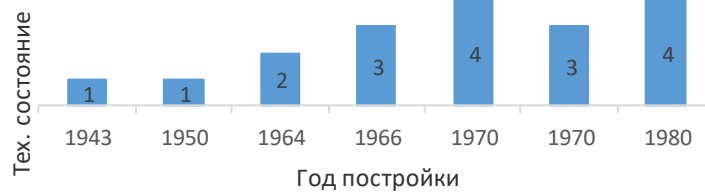


Рис. 10. Зависимость технического состояния перекрытий и покрытий от года постройки

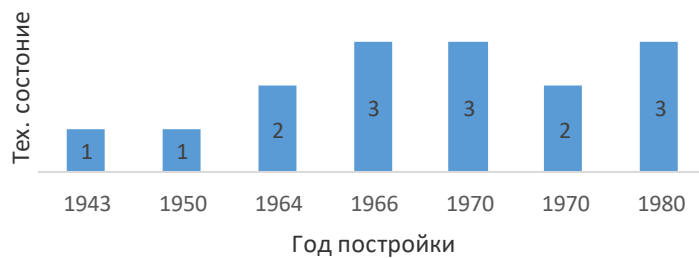


Рис. 11. Зависимость технического состояния кровли от года постройки

Для анализа стоимости ремонтно-восстановительных работ определена сметная стоимость (в ценах 2022 г.) восстановления рассматриваемых зданий. В качестве критерия стоимости восстановления объектов капитального строительства рассмотрена стоимость восстановления 1 м^3 зданий разного технического состояния (тыс. руб./ м^3):

- 1) здание находится в аварийном состоянии — 72,95;
- 2) в ограничено работоспособном состоянии — 30,73;
- 3) в недопустимом состоянии — 54,6;
- 4) в ограничено работоспособном состоянии — 43,76;
- 5) в работоспособном состоянии — 24,91;
- 6) в недопустимом состоянии — 50,58;
- 7) в ограничено работоспособном состоянии — 28,51.

На основе технического состояния и стоимости восстановления 1 м^3 выбранных объектов представляется возможным делать предварительные расчеты сметной стоимости восстановительных работ для аналогичных объектов.

График зависимости стоимости восстановительных работ от технического состояния объектов капитального строительства представлен на рис. 12.

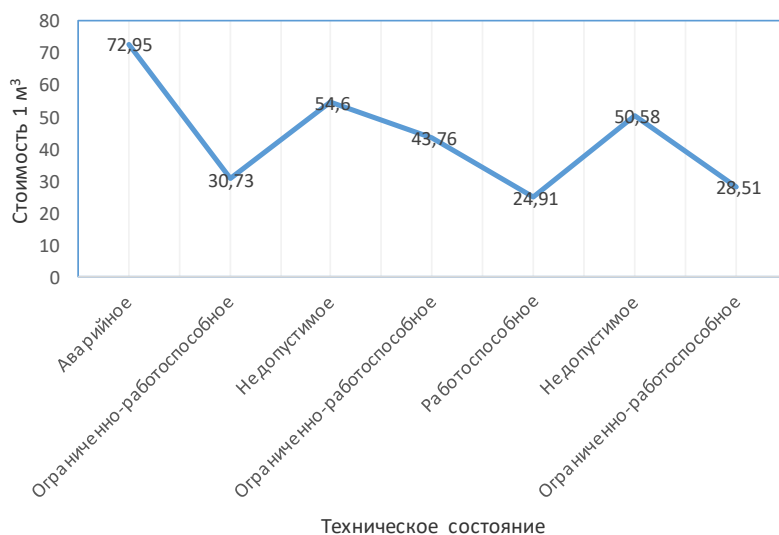


Рис. 12. Корреляция стоимости восстановительных работ 1 м³ здания или сооружения от технического состояния данных объектов капитального строительства

Выводы

1. Техническое состояние фундаментов рассмотренных зданий близко к ограниченно работоспособному, в аналогичных зданиях ограниченно работоспособное состояние фундамента наступает примерно через 40 лет.

2. Стены и перегородки находятся в ограниченно работоспособном состоянии, в некоторых случаях недопустимом и даже близком к аварийному.

3. Покрытия и перекрытия находятся в ограниченно работоспособном состоянии с тенденцией к недопустимому или аварийному состоянию.

4. Кровля находится в самом плохом техническом состоянии, она больше всего подвержена разрушению.

5. Установлено, что через 30...40 лет конструктивные элементы здания находятся в ограниченно работоспособном состоянии и нуждаются в ремонте, а после 40...45 лет эксплуатации здания его техническое состояние приближается к недопустимому, а в отдельных случаях — к аварийному.

6. Фундаменты меньше всего подвержены разрушению и ухудшению технического состояния.

7. Больше всего подвержены разрушению стены и кровля. Следовательно, данные конструктивные элементы должны чаще проходить процедуру восстановительных работ.

8. Стоимость восстановительных работ непосредственно зависит от технического состояния как самого здания, так и его отдельных конструктивных элементов. Для объектов капитального строительства, находящихся в худшем техническом состоянии, стоимость восстановительных работ оказывается выше по сравнению с объектами, находящимся в лучшем техническом состоянии.

9. Рассмотрены объекты капитального строительства, для которых с учетом технического состояния техническим заданием предусматривались восстановительные работы. В исследовании не анализировалась стоимость демонтажных работ, которые могут быть предусмотрены при аварийном состоянии зданий и сооружений.

10. Результаты исследования позволяют выполнять предварительную оценку технического состояния зданий, аналогичных представленным, и стоимости восстановительных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахрамьян А. М., Шахрамьян М. А. Способ мониторинга и прогнозирования технического состояния зданий и сооружений и система мониторинга и прогнозирования технического состояния зданий и сооружений (варианты) : патент № 2381470 С2, Российская Федерация, МПК G01M 7/00.
2. Родыгина М. М., Парамонова А. В. Прогнозирование ухудшения технического состояния строительной конструкции зданий производственного назначения на основе методики количественной оценки их технического состояния // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. № 4-2(132). С. 133—138.
3. Evtushenko S. I., Krahmalny T. A. Automated information system for monitoring technical condition during operation of production buildings // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 231. Pp. 41—48.
4. Samek D. Elman neural networks in model predictive control // Proceedings 23rd European Conference on Modelling and Simulation (ECMS'2009). 2009. Pp. 557—561.
5. Кабанов В. Н. Оценка надежности в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. С. 155.
6. Пимшин Ю. И., Гаирабеков И. Г. Техническая экспертиза зданий // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2006. № 16. С. 153—162.
7. Skachkova M. E., Lepihina O. Y., Ignatova V. V. Information support of monitoring of technical condition of buildings in construction risk area // Journal of Physics: Conference Series : International Conference Information Technologies in Business and Industry. 2018. Vol. 1015. No. 4. Pp. 042—056.
8. Soytu N. Y., Aleynikova M. A., Novozhilova A. V. Investigation of the Technical Condition of Buildings and Structures in the Conditions of Dangerous Geological Processes // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 151. Pp. 234—240.
9. Пимшин Ю. И., Губеладзе А. Р., Калайда А. В., Богданов А. Н. Обследование аварийных зданий и оценка их технического состояния // Современные проблемы геодезии и оптики : сб. научных статей по материалам LIV науч.-технич. конф. 2004. Новосибирск : СГГА, 2005. С. 60—64.
10. Shodjalilov Sh., Sharipova M. Monitoring — effective method for determining the technical condition of bearing elements of buildings and structures // Universum : Технические науки. 2021. Vol. 6-5(87). Pp. 12—15.
11. Сергеев В. В., Артемов К. А., Саранова Д. В., Карпушко Е. Н. Анализ нормативных документов в сфере оценки технического состояния объектов строительства // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сб. международной науч.-практ. конф. Волгоград, 2022. С. 573—575.
12. Вавилова Г. В. Математическая обработка результатов измерения. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2013. 160 с.
13. Шахрамьян А. М., Шахрамьян М. А. Способ мониторинга и прогнозирования технического состояния зданий и сооружений и система мониторинга и прогнозирования технического состояния зданий и сооружений (варианты) : патент № 2381470 С2, Российская Федерация, МПК G01M 7/00.
14. Mashukova M. H. Automated Monitoring System for the Technical Condition of Buildings // Proceedings of the 2018 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies". 2018. St. Petersburg : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2018. Pp. 245—247.
15. Eurolifeform: an Integrated Probabilistic Whole Life Cycle Cost and Performance Model for Buildings and Civil Infrastructure / R. J. Kirkham, M. Alisa, A. Pimenta da Silva, T. Grindley,

J. Brondsted // Proceedings of International Construction Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors (COBRA). 2004. URL: https://scholar.google.co.id/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=I5Wh92EAAAAJ&citation_for_view=I5Wh92EAAAAJ:2osOgNQ5qMEC.

© Клочков Д. П., Вереникин Ю. Д., Радченко О. П., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Клочков Д. П., Вереникин Ю. Д., Радченко О. П. Прогнозирование технического состояний и стоимости ремонтно-восстановительных работ зданий и сооружений на основе существующих объектов капитального строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 136—147.

Об авторах:

Клочков Дмитрий Петрович — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; look_back_in@mail.ru

Вереникин Юрий Дмитриевич — магистр, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Радченко Ольга Петровна — ассистент кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Dmitrij P. Klochkov, Yuriy D. Verenikin, Olga P. Radchenko

Volgograd State Technical University

FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION AND COST OF REPAIR AND RESTORATION WORKS OF BUILDINGS AND STRUCTURES BASED ON EXISTING CAPITAL CONSTRUCTION PROJECTS

The article is devoted to a prediction cost of maintenance and repair work and constructional condition of the building components is based on an information database of the analogue buildings.

Key words: prediction, maintenance and repair work, technical condition of building components, static analysis, method of point estimation of distribution parameters, cost.

For citation:

Klochkov D. P., Verenikin Yu. D., Radchenko O. P. [Forecasting the technical condition and cost of repair and restoration works of buildings and structures based on existing capital construction projects]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 136—147.

About authors:

Dmitrij P. Klochkov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; look_back_in@mail.ru

Yuriy D. Verenikin — Magistr, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Olga P. Radchenko — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 628.11(477.75)

Н. М. Ветрова, И. Н. Борбот, И. В. Данилович

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ВОДОДЕФИЦИТНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-20193,
<https://rscf.ru/project/22-28-20193/>**

Рассмотрены экологические характеристики водоснабжения урбанизированных территорий Республики Крым в условиях вододефицита. Эта проблематика актуальна в условиях недостатка качественной питьевой воды и на отдельных территориях, и в мировых масштабах. При анализе водообеспеченности всей территории Крыма выделены регионы с наиболее низкой обеспеченностью населения экологически безопасной, качественной питьевой водой. Представлены результаты лабораторного контроля питьевой воды с показателями, превышающими предельно допустимые концентрации вредных веществ. Рассмотрены подходы к решению покрытия дефицита воды в ряде случаев.

Ключевые слова: вододефицитные территории, водообеспеченность, водоснабжение, экологически безопасная вода.

Общепризнано, что вода является самым жизненно важным природным ресурсом на планете. Она необходима для выживания человека и является определяющей составляющей в продовольственных, производственных и энергетических системах. Вода лежит в основе экосистем и климата, от которых зависят искусственные и природные миры [1]. Сегодня мы подвергаем ресурсы пресной воды большей нагрузке, чем когда-либо прежде. В условиях быстро растущего населения и изменений климата нехватка воды и связанные с этим риски увеличиваются во всем мире. Из-за сочетания роста населения, неустойчивой добычи воды и недостатков в системах управления инфраструктурой водоснабжения во многих частях мира не хватает чистой воды. Кроме того, почти все виды водопользования человеком, от сельского хозяйства до промышленности и городов, приводят к загрязнению и потерям воды. В настоящее время более 80 % мировых сточных вод сбрасываются обратно в водоемы без какой-либо очистки, нанося значительный ущерб экосистемам и загрязняя жизненно важные для человека источники воды [2, 3].

Безопасная и чистая питьевая вода необходима для здоровья человека, а также является важным показателем социального развития и качества жизни общества, т. к. возрастает количество источников, которые по своим экологическим параметрам создают серьезную угрозу населению [4].

Большое количество научно-исследовательских, экспериментальных работ в мире посвящено качеству потребляемой человечеством воды. Качество воды — сложная категория, связанная не только со сбором природного ресурса, но и с проблемами подачи и очистки бытовых, промышленных, сельскохозяйственных сточных вод. Во многих научных и практических исследованиях это — ключевой вопрос, который требует постоянного внимания и уточнения подходов к решению. Обеспечение экологически безопасного

водоснабжения базируется на учете особенностей качества региональных ресурсов [3, 5—8].

Цель статьи — систематизация особенностей формирования экологически безопасного водоснабжения на вододефицитных территориях.

В России обеспечение населения экологически безопасной (чистой) питьевой водой — одна из приоритетных задач государства, от решения которой зависит благополучие и здоровье нации. Несмотря на богатство водными ресурсами, существует значительный дисбаланс обеспечения качественной, чистой питьевой водой по отдельным территориям и регионам. По данным Роспотребнадзора за 2021 г. доля населения РФ, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, составила 87,35 % (целевой показатель по всей территории страны — 86,20 %), что выше уровня 2020 г. на 0,81 %. Однако существуют территории, на которых отмечаются дефицит объемов водных ресурсов в целом и одновременно низкое качество питьевой воды. Эта проблема актуальна, в т. ч. для Республики Крым [9, 10]¹.

Общепризнано, что Крым является вододефицитным регионом, маловодность местных рек не обеспечивает потребность населения полуострова в воде в необходимых объемах. Около 80 % потребности может обеспечить Северо-Крымский канал, после восстановления подачи воды в 2022 г. в наливные водохранилища Восточного Крыма из Северо-Крымского канала подано 104,7 млн м³ воды [9—12]. При этом основными источниками питьевого водоснабжения Крыма являются 9 водохранилищ — Аянское, Изобильненское, Ленинское, Львовское, Партизанское, Симферопольское, Станционное, Феодосийское, Фронтное и скважины, расположенные преимущественно в северо-западной и центральной частях полуострова (рис. 1) [12, 13].



Рис. 1. Карта-схема водохранилищ Республики Крым [14]

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе в 2021 году : государственный доклад. URL: <https://82.rospotrebnadzor.ru/s/82/files/documents/Gosdoklad/149304.pdf>.

В зависимости от местоположения источника водоснабжения качество поступающей потребителям питьевой воды отличается. Вода, поступающая с поверхностных источников водоснабжения (водохранилищ), содержит незначительное количество минеральных солей, но подвержена сезонным изменениям по органолептическим (мутность, цветность, запах) показателям, вызванным весенними паводками, осенними ливнями и жизненными циклами живущих в данных открытых водоемах сине-зеленых водорослей (фитопланктон), скачками по микробиологическим показателям, вызванными жаркими сезонами и малыми объемами водохранилищ в засушливые годы. Так, с весенними паводками резко повышается мутность в Аянском и Партизанском водохранилищах. Летом отмечен значительный рост загрязнений по микробиологическим характеристикам в Симферопольском и Станционном водохранилищах.

Подземные источники водоснабжения в Республике Крым представлены скважинами и каптажами (родниками). Скважины большей частью расположены в северо-западной (Сакский р-н и Евпатория), северной (Красноперекоский и Раздольненский р-ны) и северо-восточной (Джанкойский и Красногвардейский р-ны) частях Крыма. Их состав отличается повышенной минерализацией, выявлены значительные превышения норм СанПиН 1.2.3685—21 по следующим показателям: общая жесткость воды, содержание хлоридов, объем сухого остатка, есть скважины с повышенным содержанием сероводорода (Красногвардейский р-н) [12, 15]².

В восточном (Керчь, Ленинский и Кировский р-н) и юго-восточном (Судак) регионах Крыма преобладают скважины, солевой состав которых большей частью соответствует нормативным требованиям, однако в данных водных источниках отмечено присутствие металлов (литий, железо, кадмий, медь, цинк) и неметаллов (бор, селен) в концентрациях, близких к превышению норматива качества питьевой воды. Особенно это проявляется при химических исследованиях подземных вод Войковского, Глазовского и Бондаревского сельских поселений Ленинского р-на.

Для водоснабжения потребителей центральной части Крыма (Белогорский, Бахчисарайский и Симферопольский р-ны) кроме воды из водохранилищ используются как скважины, так и каптажи (родники). Химический состав каптажей данных районов отмечен незначительными концентрациями солей кальция, магния, хлоридов и сульфатов, однако имеет место превышение нитрат-ионов (до 115 мг/л в Белогорском и Симферопольском р-нах). В скважинах также выявлены незначительные превышения общей жесткости (до 100 Ж в Бахчисарайском и Симферопольском р-нах) и превышение концентрации нитрат-ионов (до 90 мг/л в Симферопольском р-не).

Проблема качества воды как главного элемента экологии среды жизнедеятельности главным образом затрагивает районы с усиленной антропогенной нагрузкой, а также рекреационную зону южного берега Черноморского

² СанПиН 1.2.3685—21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с изменениями на 30.12.2022). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>.

ГН 2.1.5.1315—03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901862249>.

побережья. По результатам экспертиз воды, близкие к поверхности подземных горизонтов, используемые для питья в северном и центральном Крыму, должны проходить серьезную дополнительную очистку для обеспечения экологически безопасного снабжения потребителей.

Согласно федеральному проекту «Чистая вода» к 2024 г. нужно увеличить до 90,8 % долю населения в целом и до 99 % долю населения городов на полуострове, обеспеченных качественной питьевой водой [9, 14]³.

По оценкам специалистов [15—18], обеспеченность качественной водой в Крыму составляет 75...77 %. Наиболее острые проблемы отмечены в Евпатории, Саки, Красноперекопске, Красноперекопском и Первомайском р-нах (рис. 2).

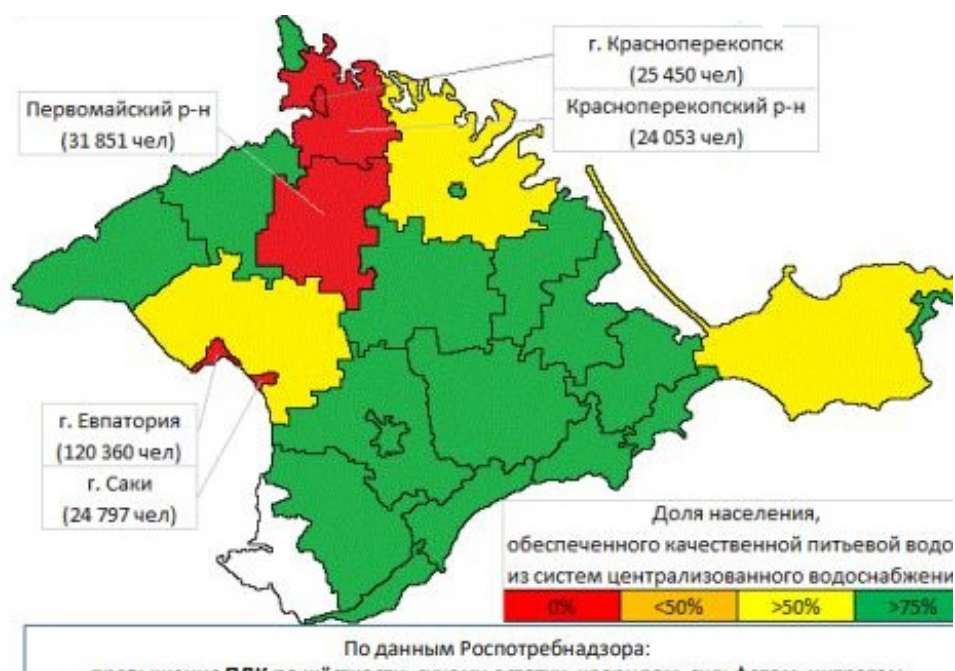


Рис. 2. Карта-схема обеспечения населения РК качественной питьевой водой (центральное водоснабжение)⁴

В рамках данных исследований проведен анализ уровня обеспеченности отдельных районов Крыма с наименее качественной питьевой водой. В соответствии с действующей методикой контроля качества питьевой воды исследовалась в динамике система показателей, которая позволяет выявить микробиологические, органолептические, санитарно-гигиенические, радиологические параметры воды.

³ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе в 2021 году : государственный доклад. URL: <https://82.rospotrebnadzor.ru/s/82/files/documents/Gosdoklad/149304.pdf>.

Федеральный проект «Чистая вода» URL: <https://raww.ru/deyatelnost/realizaciya-otraslevyix-gosprogramm/federalnyj-proekt-%C2%ABchistaya-voda.html>.

⁴ Федеральный проект «Чистая вода» URL: <https://raww.ru/deyatelnost/realizaciya-otraslevyix-gosprogramm/federalnyj-proekt-%C2%ABchistaya-voda.html>.

Результаты исследований вод подземных источников на территории Крыма за 2017—2020 гг. показали высокие уровни жесткости, минерализации, хлоридов (табл. 1—3).

Таблица 1

Показатели питьевой воды в г. Краснопереконске РК, 2017—2020 гг.

Показатель	Год				Показатель СанПиН 1.2.3685—21
	2017	2018	2019	2020	
Жесткость, мг/л	26,05	26,46	26,45	26,50	7 (10)
Хлориды, мг/л	886,90	924,12	903,68	894,64	350
Общая минерализация	2676,90	2691,44	2542,66	2517,23	1000 (1500)

Таблица 2

Показатели питьевой воды в ГО Евпатории, 2017—2020 гг.

Показатель	Год				Показатель СанПиН 1.2.3685—21
	2017	2018	2019	2020	
Жесткость, мг/л	15,2	15,5	15,65	15,73	7 (10)
Хлориды, мг/л	385	395	402,9	404,9	350
Общая минерализация	1307	1447	1475,94	1483,32	1000 (1500)

Таблица 3

Показатели питьевой воды в Первомайском районе, 2017—2020 гг.

Показатель	Год				Показатель СанПиН 1.2.3685—21
	2017	2018	2019	2020	
Жесткость, мг/л	20,84	21,5	21,67	21,79	7 (10)
Хлориды, мг/л	582	799,26	755,60	750,28	350
Общая минерализация	1743	2091,12	2017,31	1997,14	1000 (1500)

Показатели жесткости в представленных районах (рис. 3) практически в 2...2,5 раза превышают норму для питьевой воды. Вода с такими показателями как питьевая требует умягчения, а как техническая — будет определять высокий уровень образования минеральных наслоений в емкостях хранения и системах подачи воды потребителям.

Анализ содержания хлоридов выявил превышение нормативных показателей в 1,5...3 раза, причем прослеживается динамика увеличения содержания хлоридов с каждым последующим годом (рис. 4). Повышенное содержание хлоридов — достаточно серьезная проблема, поскольку при большой концентрации такие химические соединения не лучшим образом влияют на организм человека.

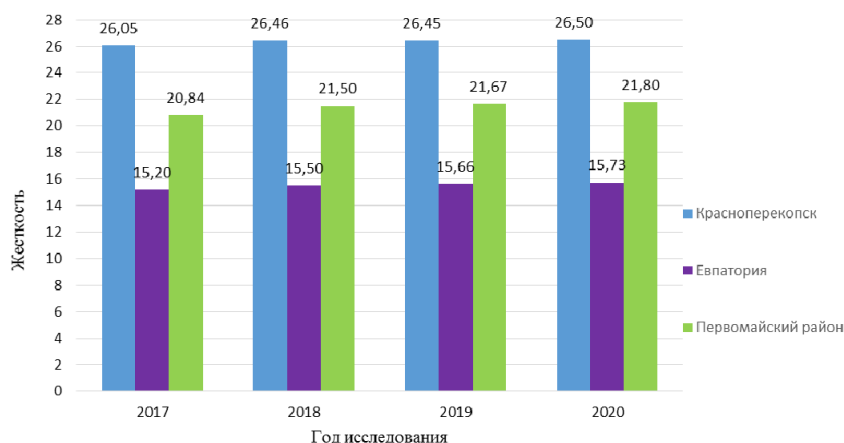


Рис. 3. Результаты лабораторного контроля жесткости питьевой воды

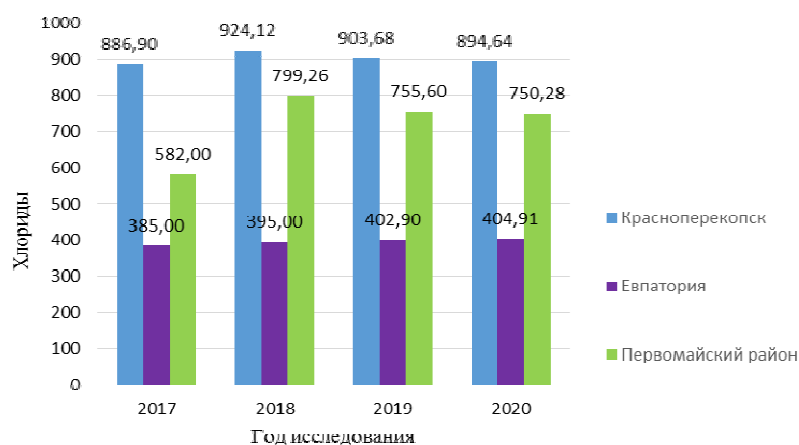


Рис. 4. Результаты лабораторного контроля содержания хлоридов в питьевой воде

В рассматриваемых районах самое большое превышение общей минерализации воды наблюдается в г. Красноперекопске. Вода с таким содержанием солей не должна применяться и требует очистки (рис. 5).

Качество воды в рассмотренных подземных источниках отличается значительным превышением допустимых предельных значений по следующим параметрам: жесткость (общая жесткость до 26,0 Ж при нормативе до 7,0 Ж), содержание хлоридов (до 900 мг/л, при нормативе до 350 мг/л), минерализация (2500 мг/л при нормативе до 1000 мг/л) (см. рис. 3—5)⁵. Главным образом такое качество воды в Евпатории, Красноперекопске, Красноперекопском и Первомайском р-нах обусловлено отсутствием водоочистных сооружений.

⁵ СанПиН 1.2.3685—21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с изменениями на 30.12.2022). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>.

ГН 2.1.5.1315—03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901862249>.

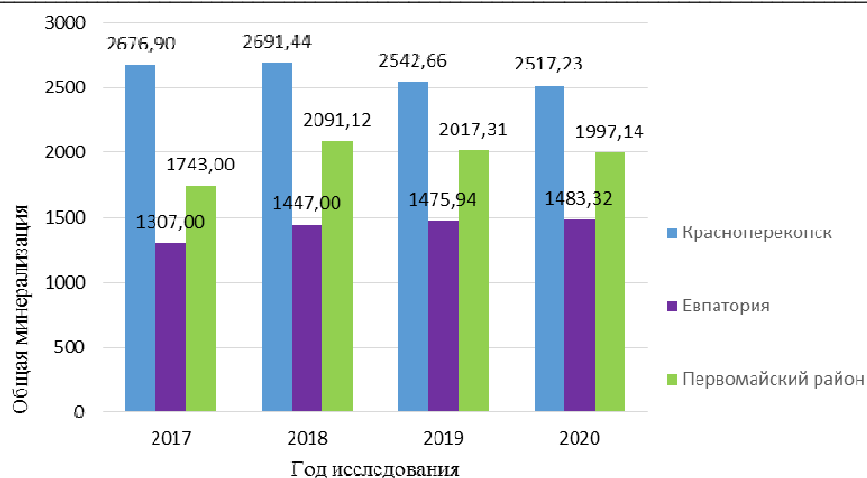


Рис. 5. Результаты лабораторного контроля общей минерализации питьевой воды

Для обеспечения населения качественной питьевой водой в рамках федерального целевого проекта проводится проектирование с последующим строительством в 2024—2025 гг. водоочистных сооружений с системой очистки воды от солей методом обратного осмоса. Также предусмотрено строительство современной химико-микробиологической лаборатории для проведения контроля качества воды согласно требований СанПиН 1.2.3685—21 в полном объеме⁶.

Выводы

На отдельных территориях и в населенных пунктах особого вододефицитного региона Республики Крым (Симферополь, Керчь, Феодосия, Большая Ялта и Алушта, Ленинский, Первомайский и другие районы) может сформироваться дефицит воды в периоды с низким объемом формирования водных ресурсов. При этом подземные источники имеют показатели, превышающие нормы по общей жесткости, минерализации, хлоридам, нитратам и сульфатам. Климатические особенности отдельных территорий определяют угрозы устойчивому водоснабжению населения и производств. Имеются территории полуострова, на которых не функционируют системы централизованного водоснабжения и канализации.

Решение проблем водоснабжения в вододефицитных регионах предполагает организацию системы мониторинга источников формирования и потребления воды с учетом территориальной структуры хозяйства и уровня обеспеченности качественной водой населения. Для снижения зависимости производства от водного дефицита естественным направлением является развитие и внедрение водосберегающих технологий (в т. ч. в сельском хозяйстве). Возрастает значение мероприятий по охране водных ресурсов и экологических инициатив, особенно для рекреационных регионов. Преодоление дефицита воды требует системной работы на всех уровнях управления и продолжения научных и инженерно-экологических разработок.

⁶ Об утверждении единой схемы водоснабжения и водоотведения Республики Крым. Постановление Совета министров Республики Крым от 26.12.2017 No 714 (с изменениями на 28.11.2022). URL: <https://docs.cntd.ru/document/406033318>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Resource Recovery from Water: Principles and Application / J. Guest, R. Ganigué, P. Jensen, K. Rabaey, T. Seviour, J. Trimmer, O. Van der Kolk, C. Vaneeckhaute, W. Verstraete. LWA Publishing, 2022. 470 p.
2. Edeki P. E., Isahb E. C., Mokogwub N. Assessment of physicochemical and bacteriological quality of drinking water in Sapele local government area of Delta State, South-South, Nigeria // Journal of Water and Health. 2023. Vol. 21. No. 1. DOI:10.2166/wh.2023.246.
3. Boyd C. E. Water quality: an introduction. Boston : Kluwer acad. publ., Cop. 2000. 330 p.
4. Water Quality Pollutants and Health Risk assessment for Four Different Drinking Water Sources / M. Tian, W. Li, M. Ruan, J. Wei, W. Ma // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 78. Iss. 5. DOI: 10.1051/e3sconf/20197803004.
5. Мареес И. А. Качество питьевой воды как глобальная экологическая проблема // Молодой ученый. 2020. № 50(340). С. 402—403.
6. Гагарина О. В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: учеб.-метод. пособие. Ижевск : Удмуртский университет, 2012. 199 с.
7. Хецуриани Е. Д., Колмакова Т. С., Акименко М. А., Хецуриани Т. Е. Экологическая безопасность водной среды — залог здорового будущего // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 156—164.
8. Хецуриани Е. Д., Бондаренко В. Л., Комлев Е. В., Хецуриани Т. Е. Природно-технические системы многоцелевого водоснабжения городского хозяйства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 87—95.
9. Обеспеченность населения и экономики Крыма водными ресурсами в условиях отсутствия поступления в Крым днепровской воды по Северо-Крымскому каналу // Государственный комитет по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым. URL: <http://gkvod.rk.gov.ru/rus/info.php?id=617266>.
10. Василенко В. А. Крым: водный кризис и экологические проблемы // ЭКО. 2016. № 9(507). С. 60—78.
11. О состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2021 году : доклад // Министерство экологии и природных ресурсов Крыма. Симферополь, 2021. 517 с.
12. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Республики Крым. Книга 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речных бассейнов, расположенных на территории Республики Крым. Симферополь, 2017. 115 с.
13. Иванкова Т. В. Современное состояние водообеспеченности Республики Крым и возможные дополнительные источники воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 3. С. 4—11.
14. Меннанов Э. Э., Борбот И. Н., Данилович И. В. Современные проблемы обеспечения населения Республики Крым качественной питьевой водой // Экономика строительства и природопользования. 2022. № 4(85). С. 99—105.
15. Кобечинская В. Г., Ярош О. Б., Ивашов А. В., Апостолов В. Л. Проблемы качества питьевой воды западной части Крыма // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 3(83). С. 50—62.
16. Демин А. П. Современное положение с обеспечением населения Крымского полуострова чистой питьевой водой // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 4. С. 4—13.
17. Каюкова Е. П., Юровский Ю. Г. Водные ресурсы Крыма // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2016. № 1. С. 25—32.
18. Захаров Р. Ю., Волкова Н. Е., Подовалова С. В. Оценка качества подземных вод Черноморского района // Экономика строительства и природопользования. 2022. № 1—2(82—83). С. 158—167.

© Ветрова Н. М., Борбот И. Н., Данилович И. В., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Ветрова Н. М., Борбот И. Н., Данилович И. В. Особенности формирования экологически безопасного водоснабжения на вододефицитных территориях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 148—156.

Об авторах:

Ветрова Наталья Моисеевна — д-р техн. наук, проф., проф. каф. природообустройства и водопользования, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского. Российская Федерация, 295007, г. Симферополь, пр-т Вернадского, 4; хаос.vetrova.03@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7012-2359

Борбот Ирина Николаевна — аспирант, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского. Российская Федерация, 295007, г. Симферополь, пр-т Вернадского, 4; Pust_iren@mail.ru

Данилович Игорь Васильевич — аспирант, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского. Российская Федерация, 295007, г. Симферополь, пр-т Вернадского, 4; danilovich_iv@mail.ru

Natalya M. Vetrova, Irina N. Borbot, Igor V. Danilovich

Vernadsky Crimean Federal University

FEATURES OF THE FORMATION OF ENVIRONMENTALLY SAFE WATER SUPPLY IN WATER-DEFICIENT TERRITORIES

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-28-20193, <https://rscf.ru/project/22-28-20193>

This article discusses the features of the formation of the ecological state of water supply in the urbanized territories of the Republic of Crimea in conditions of water scarcity. The considered problem is highly relevant in the current conditions of a shortage of high-quality drinking water on a global scale. By analyzing the water availability of the entire territory of Crimea, certain regions with the lowest provision of environmentally safe, high-quality drinking water have been identified. The results of laboratory control of drinking water with the allocation of the main indicators exceeding the maximum permissible concentrations are presented. The ways of solving the water shortage coverage in a number of cases are considered.

Key words: water-deficient territories, water availability, water supply, environmentally safe water.

For citation:

Vetrova N. M., Borbot I. N., Danilovich I. V. [Features of the formation of environmentally safe water supply in water-deficient territories]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 148—156.

About authors:

Natalya M. Vetrova — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vernadsky Crimean Federal University. 4, Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Russian Federation; хаос.vetrova.03@mail.ru

Irina N. Borbot — Postgraduate student, Vernadsky Crimean Federal University. 4, Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Russian Federation; Pust_iren@mail.ru

Igor V. Danilovich — Postgraduate student, Vernadsky Crimean Federal University. 4, Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Russian Federation; danilovich_iv@mail.ru

УДК 691

М. А. Гончарова^а, Т. К. Акчурин^б, Е. С. Дергунова^а, А. Г. Заева^а

^а *Липецкий государственный технический университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РИСКА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ «ЧИСТЫХ» ПОМЕЩЕНИЙ

Для обеспечения высокого качества продукции и технологических процессов в химической, фармакологической и других отраслях промышленности, а также требований техники безопасности в «чистых» технологических помещениях следует непрерывно проводить мониторинг микробиологической среды сэндвич-панелей, используемых в строительстве. Изучение биодеструкции строительных изделий и стабильности параметров «чистого» помещения необходимо проводить с учетом условий его эксплуатации и технического обслуживания. При экспериментальном внесении суспензии спор микроорганизмов (капель) в образец теплоизоляционного слоя происходит постепенное накопление биодеструкторов между волокнами. При этом материал (минеральная вата) поддерживает лишь незначительное развитие (увеличение концентрации) плесневых грибов. Но при добавлении питательных веществ в область инокуляции наблюдается активный рост микроорганизмов в зоне дополнительного питания. Показано, что использование многослойных ограждающих конструкций для строительства «чистых» помещений с применением материалов, подвергающихся биодеструкции, является потенциальной причиной несоответствия эксплуатационным показателям.

К л ю ч е в ы е с л о в а: биодеструкция, биологически активные среды, микроорганизмы, субстрат, «чистые» помещения, безопасная эксплуатация, сэндвич-панели, факторы риска.

В настоящее время исследования биодеструкции и биосопротивления строительных материалов становятся приоритетными направлениями в строительстве. Строительные материалы как природного происхождения, так и искусственно созданные (в т. ч. цементные растворы и бетоны, древесина и минеральные волокна), в процессе эксплуатации на предприятиях подвергаются разрушающему действию биологически активных сред [1, 2].

Во многих лабораториях, медицинских учреждениях и некоторых отраслях промышленности широко применяются так называемые «чистые» помещения или «чистые» зоны. Чистым называется помещение, в котором концентрация микроскопических объектов твердой, жидкой и иной структуры либо микроорганизмов, размер которых находится в пределах 0,005...100 мкм, снижена до определенного уровня [3, 4].

Общее количество фармацевтических чистых помещений оценивается более чем в 8000 по всему миру. По предположениям экспертов, в 2025 г. таких объектов будет уже 11 000, а в 2030 г. — 15 000. Особое значение уделяется строительству чистых зон для производства клеточных и вирусных векторных генных препаратов [5].

Возникает задача определения безопасных эксплуатационных характеристик строительных материалов чистых зон, в т. ч. и выявления биодеструкции, что является критически важными для стерильных зон и технологических операций, а также подтверждения целевых функций материала [6—8].

Под биодеструкцией понимается разрушение материалов и нарушение работоспособности изделий в результате воздействия биологически активных

сред и продуктов их жизнедеятельности. При воздействии микроорганизмов поверхность композиционных материалов покрывается пигментными пятнами или становится бесцветной из-за поглощения микроорганизмами отдельных компонентов композита [9].

Для зон, где существует риск загрязнения технологических процессов, необходимо указывать факторы риска, учитывающие назначение чистого помещения. Для этих факторов должны быть определены методы контроля безопасной эксплуатации на случай совершения необходимых действий при нарушениях требований к чистоте помещений [10—12].

Доказано, что более 40 % общего объема биоповреждений связано с деятельностью микроорганизмов — бактерий и грибов.

Если влаги недостаточно, то развитие бактерий и грибов замедляется. Оптимум влажности для них — 95...98 %. В то же время известно, что грибы и споры многих бактерий сохраняют жизнеспособность в высушенном состоянии и биохимическую активность при низких температурах [13].

Данные исследования направлены на изучение биодеструкции и биосопротивления композиционных строительных материалов в условиях воздействия микроскопических грибов [14].

Методологическая основа исследования заключается в анализе современного опыта разработки технологий строительства чистых помещений и асептических сред [15].

Описание методик контроля загрязнения в чистых помещениях

При анализе научной литературы и нормативной документации установлено, что для полного цикла непрерывного мониторинга необходим мониторинг конструкций сэндвич-панелей, применяемых в качестве барьера (как основная функция) для чистых помещений.

1. Аспирационный и седиментационные методы

Аспирационные методы основаны на просасывании воздуха (аспирации) через специальные фильтры, пластины, адсорбирующие микроорганизмы.

Седиментационным методом мониторинг производится в классах чистоты А на протяжении всего времени асептического процесса.

Чашка Петри устанавливается после включения ламинарного потока воздуха. Чашки Петри снимаются (или меняются при необходимости) по истечении 4-часового времени экспозиции. Допускается во время экспозиции чашек проводить дезинфекцию и очистку оборудования [2].

Для мониторинга микробной контаминации используются: среда № 1 для бактерий и среда № 2 (агар Сабуро) для дрожжей и грибов.

В ходе аспирационного метода сотрудник обрабатывает пробоотборник и крышку спиртом этиловым 76 %. Стерильными перчатками снимает насадку и фиксирует чашку с питательным агаром в посадочное место прибора. Далее снимает крышку с чашки и надевает насадку, которую фиксирует, повернув ее по часовой стрелке. Прибор переносят в ту часть помещения, где необходимо взять пробу воздуха. Пробы начинают отбирать из зоны с наиболее высоким классом чистоты. В каждой зоне необходимо отобрать 1000 л воздуха на одну чашку Петри со средой. Если в исследуемой зоне 2 точки отбора проб, то отбирается в каждой точке по 1000 л. Далее перемещаются в другую точку исследуемой чистой зоны, сменив чашки Петри в пробоотборнике (рис. 1) [2].

На чашке Петри подписывают маркером номер помещения, класс чистоты, дату и время отбора (во время процесса или после окончания процесса), дату учета (рис. 2).

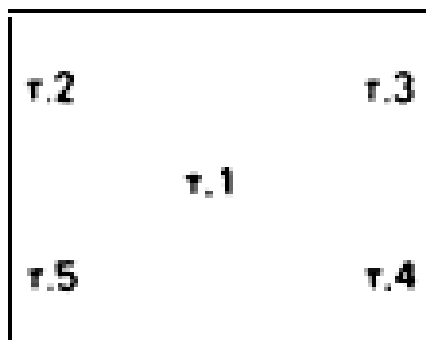


Рис. 1. Контрольные точки отбора проб в помещениях площадью до 15 м²

Рис. 2. Сплошной рост на твердых питательных средах

Затем пробы транспортируются в закрытом кейсе в микробиологическую лабораторию. Посевы на среде № 1 инкубируются при температуре 30...35 °С в течение 72 ч, на среде № 2 — при 20...25 °С в течение 5 сут.

По истечении срока инкубации проводится подсчет колоний выросших микроорганизмов на поверхности среды, на каждом параллельных пробах из одной точки отбора.

2. Методика исследования минеральной ваты как субстрата

Первая стадия биоповреждения начинается с адгезии микроорганизмов на границе раздела. После адсорбции к поверхности материала микроорганизмы вступают в комплекс взаимодействий с его компонентами.

Для проведения исследования готовят 2...3 г минеральной ваты, стерилизуют и инкубируют в воде для инъекций и в средах для роста микроорганизмов для данных штаммов. 10 КОЕ каждого штамма используют в качестве контроля со средами без внесения минеральной ваты. Получают раствор после инкубации и фильтруют. Испытание на стерильность проводят с использованием фильтрационной установки.

Для посева мембраны в питательные среды необходимо аккуратно отстегнуть фильтродержатель (воронку) с гнезда, провести визуальный осмотр мембраны на наличие разрывов, если мембрана целая без видимых дефектов, то ее можно далее использовать для посева на питательные среды. Если мембрана нарушена, испытание повторяют. С помощью стерильного пинцета, придерживая стеклянной палочкой, разрывают мембрану на 2 равные части.

Одну половину мембраны переносят стерильным пинцетом в колбу со 100 мл тиогликолевой среды. Вторую половину мембраны стерильным пинцетом переносят в колбу с 100 мл среды Сабуро. Питательные среды готовят в соответствии с СОП М—39 «Приготовление питательных сред».

Результаты исследования минеральной ваты как субстрата приведены в табл. 1—5.

3. Исследование в бедной для роста среде (вода для инъекций)

Таблица 1

Результаты испытания в возрасте 3 сут

Штаммы	Контроль, КОЕ		Минеральная вата, КОЕ	
	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2
<i>Aspergillus brasiliensis</i>	—	27	—	12
<i>Bacillus subtilis</i>	17	—	10	—
<i>Candida albicans</i>	—	25	—	11
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	17	—	11	—

Таблица 2

Результаты испытания в возрасте 6 сут

Штаммы	Контроль, КОЕ		Минеральная вата, КОЕ	
	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2
<i>Aspergillus brasiliensis</i>	—	45	—	10
<i>Bacillus subtilis</i>	14	—	8	—
<i>Candida albicans</i>	—	15	—	10
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	17	—	6	—

Таблица 3

Результаты испытания в возрасте 9 сут

Штаммы	Контроль, КОЕ		Минеральная вата, КОЕ	
	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2
<i>Aspergillus brasiliensis</i>	—	69	—	10
<i>Bacillus subtilis</i>	105	—	3	—
<i>Candida albicans</i>	—	15	—	10
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	47	—	9	—

Таблица 4

Результаты испытания в возрасте 12 сут

Штаммы	Контроль, КОЕ		Минеральная вата, КОЕ	
	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2
<i>Aspergillus brasiliensis</i>	—	201	—	8
<i>Bacillus subtilis</i>	140	—	7	—
<i>Candida albicans</i>	—	152	—	12
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	117	—	5	—

4. Исследование на жидких средах после стерилизации

Таблица 5

Результаты испытания в возрасте 2 сут

Штаммы	Контроль, КОЕ		Минеральная вата, КОЕ	
	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2	Тиогликолевая № 1	Сабуро № 2
<i>Aspergillus brasiliensis</i>	Сплошной рост	То же	Сплошной рост	То же
<i>Bacillus subtilis</i>	Сплошной рост	То же	Сплошной рост	То же
<i>Candida albicans</i>	Сплошной рост	То же	Сплошной рост	То же
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Сплошной рост	То же	Сплошной рост	То же

5. Описание примерной модели биодеструкции

Примерная модель биодеструкции минеральной ваты описывается уравнением отношения начального КОЕ C_n к конечному КОЕ C_k в %:

$$D = \left(1 - \frac{C_n}{C_k} \right) 100 \%$$

Скорректированные данные представлены в табл. 6.

Таблица 6

Скорректированные результаты исследования

Штаммы	Сутки			
	3	6	9	12
<i>Aspergillus brasiliensis</i>	55,6	60,0	77,8	88,4
<i>Bacillus subtilis</i>	41,2	42,9	94,3	97,9
<i>Candida albicans</i>	56,0	33,3	33,3	92,1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	35,3	64,7	80,9	95,7

Данные кинетики роста на бедной среде представлены на рис. 3.

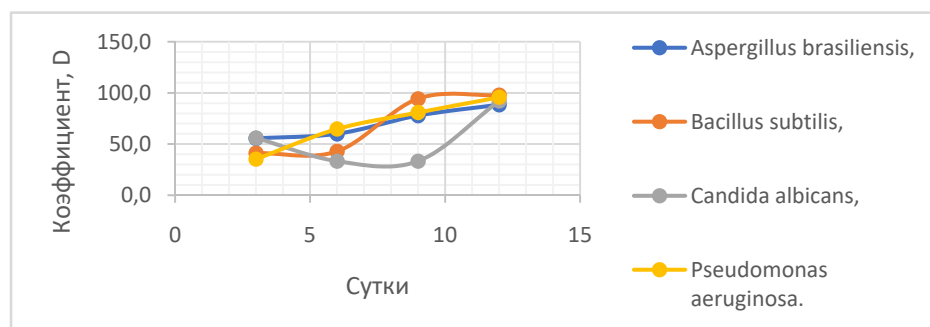


Рис. 3. Данные кинетики роста на бедной среде для минеральной ваты

Полученные результаты испытаний свидетельствуют, что при внесении суспензии спор микроорганизмов (капель) в минеральную вату может происходить постепенное накопление биодеструкторов между волокнами. При

этом минеральная вата способна поддерживать лишь незначительное развитие плесневых грибов. Однако при добавлении питательных веществ в область инокуляции наблюдается активный рост грибов в зоне дополнительного питания.

Таким образом, использование многослойных ограждающих конструкций для строительства чистых помещений с применением материалов, подвергающихся биодеструкции, является потенциальной причиной несоответствия эксплуатационным показателям и может служить фактором нарушения безопасности производственной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гончарова М. А., Заева А. Г. Биологические аспекты эксплуатации комплекса чистых помещений // Строительные материалы. 2023. № 1-2. С. 18—23.
2. Севоян Т. Р. Основы обеспечения требуемых параметров воздушной среды в чистых помещениях различных классов // XXIII Нижегородская сессия молодых ученых (технические, естественные, математические науки) : материалы докладов. Т. 1. Нижний Новгород : Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, 2018. С. 191—193.
3. Гончарова М. А., Кошелев Р. Р., Заева А. Г. Исследование биодеструкции минеральной ваты в ограждающих конструкциях чистых помещений // Современные проблемы материаловедения : сб. науч. тр. IV Всероссийской (национальной) науч.-практич. конф. Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2023. С. 46—52.
4. Строительство, реконструкция и эксплуатация зданий и сооружений с учетом экологических и медицинских аспектов / В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, Д. А. Светлов, О. Д. Васильев, М. В. Вильдяева, В. Г. Гоик // Вестник Приволжского территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук : сб. науч. тр. Вып. 22. Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. С. 219—232.
5. Уайт В. Технология чистых помещений: основы проектирования, испытаний и эксплуатации. М. : Клирум, 2002. 304 с..
6. Гончарова М. А., Дергунова Е. С., Мраев А. В. Биоповреждение строительных материалов и защита от биокоррозии. Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2021. 91 с.
7. Maiorova T. V., Ponomareva O. S., Nazarova O. L. Ecological safety as a factor of sustainable development of industrial areas // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Sustainable Development of Regional Infrastructure. Yekaterinburg, 2021. Pp. 28—32.
8. Borisov A. I. Theoretical foundations of industrial safety in modern conditions // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Pp. 120—124.
9. Rader R. A. The next decade of cleanrooms // Pharma Manufacturing. 2019. Vol. 6. URL: <https://www.pharmamanufacturing.com/articles/2019/the-next-decade-of-cleanrooms>.
10. Ерофеев В. Т., Аль Дулайми С. Д. С., Дергунова А. В. Повышение долговечности и экологичности зданий и сооружений текстильной промышленности путем применения материалов, модифицированных микробиологической добавкой // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 3(393). С. 141—146.
11. Anikina N. A., Smirnov V. F., Smirnova O. N., Zaharova E. A. Protection of construction materials based on acrylates from biodeterioration // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 5(81). Pp. 116—124.
12. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В., Вахитов Б. Р. Моделирование процессов биоповреждения минеральных строительных материалов // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тезисы докладов в 5 т. Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 2016. С. 380.
13. Tuleuova G. K., Abdramanova Zh. M. Use of environmentally friendly construction and finishing materials in the solution of the problem of optimization of the indoor climate // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. No. 5-4(61). Pp. 45—48.
14. Шараева В. П., Рябышенков А. С. Технологический микроклимат чистых помещений микроэлектроники // Инновационные наукоемкие технологии : V международная науч.-технич. конф. 2018. Тула : Инновационные технологии, 2018. С. 17—20.
15. Цыганков А. В., Лысев В. И., Долговская О. В., Хилдаяти А. Методика подбора фильтров для чистых помещений // Вестник Международной академии холода. 2019. № 1. С. 11—16.

© Гончарова М. А., Акчурин Т. К., Дергунова Е. С., Заева А. Г., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Гончарова М. А., Акчурин Т. К., Дергунова Е. С., Заева А. Г. Анализ факторов риска безопасной эксплуатации «чистых» помещений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 157—163.

Об авторах:

Гончарова Маргарита Александровна — д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; magoncharova777@yandex.ru

Акчурин Талгат Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

Дергунова Елена Сергеевна — канд. хим. наук, доц., Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; dergunova14@yandex.ru

Заева Анастасия Геннадиевна — аспирант, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; nastenkast08@mail.ru

Margarita A. Goncharova^a, Talgat K. Akchurin^b, Elena S. Dergunova^a, Anastasiia G. Zaeva^a

^a *Lipetsk State Technical University*

^b *Volgograd State Technical University*

ANALYSIS OF RISK FACTORS FOR SAFE OPERATION OF CLEAN ROOMS

It is shown that in order to ensure the high quality of products and technological processes in the chemical, pharmacological and other industries, as well as to ensure safety in “clean” technological rooms, it is necessary to continuously monitor the microbiological environment of sandwich panels used for construction. It is shown that the study of the biodegradation of building products and the guarantee of the stability of the parameters of a clean room must be carried out taking into account the conditions of its operation and maintenance. It has been established that during the experimental introduction of a suspension of spores of microorganisms (drop) into a sample of a heat-insulating layer, a gradual accumulation of biodestructors occurs between the fibers. At the same time, the material (mineral wool) supports only a slight development (increase in concentration) of mold fungi. However, when nutrients are added to the area of inoculation, active growth of microorganisms in the zone of additional nutrition is observed. It is shown that the use of multilayer building envelopes for the construction of clean rooms using materials subject to biodegradation is a potential cause of non-compliance with performance indicators.

Key words: biodegradation, biologically active media, microorganisms, substrate, “clean” rooms, safe operation, sandwich panels, risk factors.

For citation:

Goncharova M. A., Akchurin T. K., Dergunova E. S., Zaeva A. G. [Analysis of risk factors for safe operation of clean rooms]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 157—163.

About authors:

Margarita A. Goncharova — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; magoncharova777@yandex.ru

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

Elena S. Dergunova — Candidate of Chemistry, Docent, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; dergunova14@yandex.ru

Anastasiia G. Zaeva — Postgraduate student, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; nastenkast08@mail.ru

УДК 72.03

П. П. Олейников, О. Г. Мельникова

Волгоградский государственный технический университет

САМЫЙ ИЗВЕСТНЫЙ ДОМ ЦАРИЦЫНА

Введение. Цель работы — основываясь на архивных документах, всестороннем изучении истории функционирования памятника архитектуры регионального значения «Здание обкома КПСС и облисполкома (администрация Волгоградской области, „дом Божескова“)\», выявить и проанализировать архитектурные особенности объекта, построенного в Царицыне в конце XIX в. Одной из задач является разработка (восстановление) исторических фасадов дома Божескова. Актуальность темы исследования связана с возрастающим интересом общества к вопросу сохранения культурного и, в частности, архитектурного наследия региона.

Метод и материалы. В основу полученных результатов положены материалы архивных фондов, применение BIM-технологий при воссоздании фасадов исторического здания. Выполнен сравнительный анализ соотношения размеров и местоположения отдельных элементов фасада дома Божескова для окончательного выявления особенностей исторического фасада.

Результаты. Нахождение по фотографиям XIX—XX вв. линейных размеров позволило установить максимально точные размерные характеристики здания. Главным выводом исследования стало воссоздание исторических «царицынских» фасадов дома Божескова, утраченных в 1940-х гг. сначала в ходе Сталинградской битвы, затем при проектировании и строительстве на его основе главного административного здания Волгограда.

Ключевые слова: Царицын, архитектура, дом Божескова, фасад, декор, Волго-Донская железная дорога, пожар, стена, фундамент, купец, BIM-технологии.

Царицын, уездный город Саратовской губернии, к концу XIX в. стал интенсивно развиваться как центр лесопереработки и перевалочный, транспортный узел для товаров и продовольствия во все концы России. После проведения Крестьянской реформы в 1861 г. началось быстрое развитие города [1]. Росло население, увеличение объемов строительства было неизбежным. В городе все больше появлялось каменных зданий, чему в немалой степени способствовали достаточно частые и сильные пожары, приводившие к уничтожению деревянных построек, иногда целых улиц и слободок.

Отмена крепостного права давала возможность наиболее активным крестьянам вырваться из бедности. Именно к таким относился Михаил Андреевич Божесков, свою трудовую деятельность он начинал чернорабочим на тяжелой стройке Волго-Донской железной дороги, которая вошла в эксплуатацию в 1862 г. и стала четвертой по счету в России. Именно там его смекалка и деловитость были замечены, он был назначен десятником [2]. Со временем появились и самостоятельные подряды на земляные работы, поставку камня и т. п. Божескову удалось хорошо заработать на новом подряде на поставку леса, что принесло солидную сумму в 10 тыс. руб.

В 1870-е гг. М. А. Божесков уже сам торговал лесом, проводил комиссионные операции с нефтью. Доходы росли, накопился первоначальный капитал, позволивший исполнить мечту — построить, как оказалось, самое величественное здание в Царицыне. Мечта осуществилась в 1880—1881 гг. — Михаил Андреевич строит здание, получившее известность на многие годы как «дом Божескова» (рис. 1).



Рис. 1. Дом Божескова в Царицыне конца XIX в.¹

Но радости и удачи от этой грандиозной постройки не получилось. Еще на стадии строительства поджидали большие трудности. Место, где строился дом, было крайне сомнительным из-за оврага, известного еще с давних времен (рис. 2). В период строительства здесь скапливалась вода, и первое, что надо было сделать — осушить территорию, а потом выполнить засыпку оврага. Да и фундамент получился с более глубоким заложением. Это значительно увеличило общие затраты.



Рис. 2. Фрагмент плана Царицынской крепости, XVIII в.: 1 — овраг, где будет построен дом; 2 — Донской бастион; 3 — Царицынский бастион; 4 — р. Царица; 5 — «обывательские дома»²

В связи со строительным бумом того времени также сказывалась нехватка строительных материалов. Если древесины было достаточно, сплав леса по Волге постоянно возрастал, то кирпича не хватало, его пришлось возить издалека, даже из Дубовки, что тоже существенно увеличило расходы, а деньги уже закончились, и Божесков вынужден был взять ссуду в 70 тыс. руб. в Саратово-Симбирском банке.

¹ URL: https://i1.wp.com/varlamov.me/2018/stalingrad_bw/43.jpg.

² План укрепления крепостей на Царицынской линии. П. Б. Иноходцев. Начало 1770-х гг. НИОР БАН. Собрание рукописных карт (основная опись карт). № 837.

В общем, экономистом М. А. Божесков оказался никудышным. Сообщается, что этот дом стоил хозяину около 200 тыс. руб., баснословную по тем временам сумму. Уже в год окончания строительства дом был заложен в том же Саратово-Симбирском банке за 75 тыс. руб. [3].

Первое время после окончания строительства дом приносил неплохой доход 6—7 тыс. руб. в год, но необходимость оплаты ссуды, финансовые трудности в торговых делах привели М. А. Божескова к мысли о продаже дома. Покупателей не нашлось, и при достаточно странных обстоятельствах 10 августа 1887 г. в доме случился пожар, в организации которого обвинили владельца здания, но в конечном итоге он все же был оправдан. А так как дом был застрахован в «Северном страховом обществе» на 175 тыс. руб., то после получения такой суммы и погашения долгов у Божескова, по предположению журналистов Царицына, должны остаться немалые средства в сумме до 100 тыс. руб. [4].

Несколько лет после пожара здание никак не ремонтировалось, что не украшало город, однако нашлись новые хозяева, ставшие его владельцами. При этом упоминается, что дом принадлежал купцам Воронину и Шлыкову, но в дальнейшем в качестве владельца назывался только богатый купец К. В. Воронин [5]. Здание было отремонтировано, начался новый этап в его истории, но имя первого хозяина в названии здания «дом Божескова» остается и до наших дней.

Михаил Александрович Божесков скончался в 1889 г., Царицынское общество взаимного кредита, которому, видимо, было передано его имущество, сообщило: «В обществе продается флигель и каменная лавка умершего М. А. Божескова на Княгининской ул. напротив Базарной площади» (рис. 3) [6].



Рис. 3. Царицын начала XX в.: на переднем плане — торговые лавки 2-й части (Вознесенская площадь — Княгининская улица). В глубине — здания по ул. Княгининской, напротив базара. Возможно, какой-либо из домов А, Б или В принадлежал в 1889 г. купцу М. А. Божескову (Музей архитектуры Царицына — Сталинграда — Волгограда, архив А. А. Лапинского № 119, фрагм.)

Что же представляло собой здание, построенное более 140 лет назад и существующее в наше время, хотя и сильно видоизмененное?

Оно имело Г-образный план с размерами по фасаду со стороны главной улицы, названной позже Александровской, 83 м. Его ширина составляла от 20 до 22 м, а в угловой правой части, в месте расширения — 25 м. Дом построен трехэтажным, его общая площадь составляла 4700 м², а объем — 18000 м³. Для архитектуры Царицына это была заметная постройка во всех отношениях.

Побывавший проездом в Царицыне П. И. Чайковский даже назвал его домом «на венский лад», удивляясь, что в пыльном и неблагоустроенном городе той поры существуют постройки такого рода [7].

Мы допускаем, что автором проекта дома Божескова мог стать Ф. И. Эрфурт, который трудился городским техником, именно он назван в прессе Царицына строителем здания [8]. Зачастую слова «архитектор» и «строитель» имели одинаковое значение и указывали на автора проекта, а тех, кто выполнял строительные работы, называли строительными подрядчиками.

По своей архитектуре здание отличалось от других очень богатым декором, можно сказать, фасад перенасыщен архитектурными деталями, это делало его весьма декоративным, но и одновременно очень дробным (рис. 4).



Рис. 4. Дом Божескова на Александровской улице. ВОКМ

Построение структуры фасада имеет определенную логику: на торцевом (северо-восточном) фасаде, который спроектирован парадным, первый этаж с полуарочными оконными проемами по вертикали расчленяется профилированными пилястрами, переходящими на втором этаже в парные колонки, между которыми устроены арочные оконные проемы, а над ними, между вторым и третьим этажами, идет второстепенный карниз в виде сухариков.

Декор третьего этажа также отличается от первого и второго этажей — арочные окна с наложением декора и пилястрами в виде парных рустованных элементов сильно утяжеляют всю плоскость, которая поддерживает мощный карниз.

Со стороны главной улицы фасад имел пятичастное деление по вертикали, при этом его правая, левая и центральная части были украшены балконами с колоннами на втором и третьем этажах и выделены пилястрами на всю высоту здания, завершенными аттиками. Две другие части фасада с восемью проемами каждая решены менее декоративно, их карнизная часть завершается баллюстрадой, удерживаемой ритмически поставленными столбиками. В целом такую постройку можно долго рассматривать, находя все новые и новые детали, чем, наверное, и хотели удивить горожан архитектор и хозяин этого дома.

Перед нами здание, имеющее все признаки эклектики и провинциальной архитектуры, что характерно для купеческих зданий Царицына в конце XIX — начале XX вв.

Это знаковое сооружение Царицына перенесло все испытания, выпавшие на долю города. Оно хорошо послужило царицанам и сталинградцам и до сих пор служит волгоградцам.

В Царицыне в здании были помещения съезда мировых судей и нотариуса Арисенко, камера мирового судьи первого участка, городская управа и дума, магазины Шувалова, Кочанова, типография Лесникова, дом трудолюбия, писчебумажный и книжный магазин Васильевой, склад шипучих вод Репмана. Позднее вместо Васильевой и Лесникова появились ссудный магазин Кузнецова, Толочкова и игрушечный магазин Плечистова, булочная и кондитерская Якова Федоровича Безеля, при ней — зала для питья кофе и шоколада [9]. В 1908 г. в здании открывается реальное училище.

В Сталинграде в бывшем доме Божескова, на углу ул. Володарской и Октябрьской, размещался Дворец труда (рис. 5). В 1932 г., после перевода из Саратова в Сталинград краевого центра, здесь разместили краевое (КрайЗУ), затем областное земельное управление [10]. Здание было включено в план института «Крайпрогор» на разработку проекта надстройки четвертого этажа для увеличения площадей помещений (рис. 6).



Рис. 5. Дворец труда в Сталинграде (быв. дом Божескова): фото 1920-х гг.

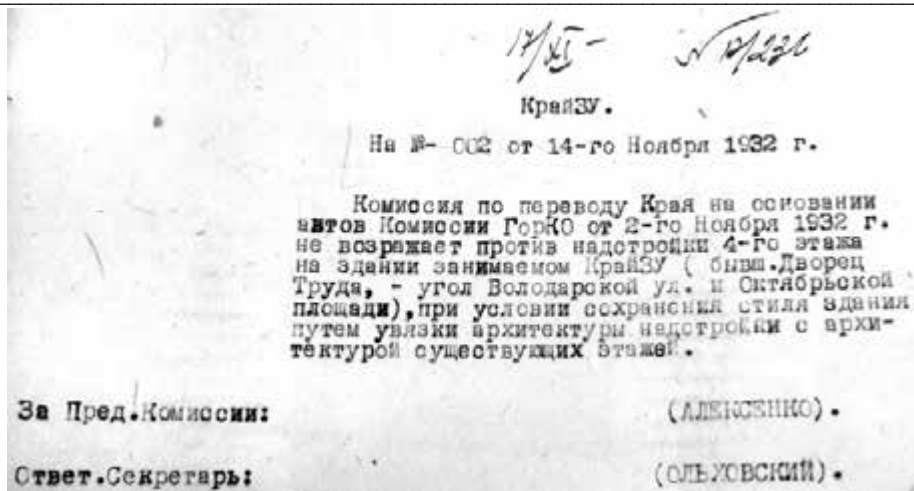


Рис. 6. Записка Комиссии по переводу краевого центра о надстройке здания [11]

Перед этим, 2 ноября 1932 г., инженеры городского коммунального отдела (ГорКО) П. П. Колесниченко, Н. А. Куц и К. Ф. Рейвер произвели обследование здания на предмет определения его состояния и возможности надстройки 4-го этажа, о чем был составлен акт. Комиссия констатировала: здание кирпичное, 3-этажное с подвальным этажом при общей высоте 20 м и толщине стен подвального этажа 1,2 м, 1-го этажа — 0,9 м, 2 и 3-го этажей — 0,8 м и чердачного помещения — 0,7 м. Определено, что перекрытие подвального помещения — кирпичное сводчатое, а в этажах — деревянное. Данные геологического изыскания из 6 заложённых буровых скважин, представленные КрайЗУ комиссии, показали наличие насыпного грунта, простирающегося в некоторых местах до 8 м глубины с проходящими грунтовыми водами от поверхности земли 9,1 м. Отмечено также, что здание существует более 50 лет, но признаки деформации стен отсутствуют, а удовлетворительное состояние фундамента и его значительная глубина дают возможность комиссии сделать заключение о возможности произвести надстройку 4-го этажа. При этом рекомендовано сделать стены надстройки толщиной в 2,5 кирпича на высоту 2 м. Уже 5 ноября 1932 г. заместителем директора проектного института «Крайпрогор» отправлена КрайЗУ справка о согласии разработать проект надстройки дома к 15 декабря того же года. А 14 ноября 1932 г. комиссия по переводу края согласовывает надстройку 4-го этажа на здании, занимаемом КрайЗУ, при условии сохранения стиля здания путем увязки архитектуры надстройки с архитектурой существующих этажей (см. рис. 6).

По каким-то причинам надстройка не произведена, хотя в Сталинграде в это время было надстроено более 30 бывших купеческих зданий [10]. Одной из причин, вероятно, стала невозможность в короткое время выполнить поставленное условие — «сохранение стиля здания», т. к. ранее отмечено, что декор фасада очень сложный и насыщенный, а квалифицированных каменщиков было, вероятно, недостаточно.

В 1941—1942 гг. в здании размещался эвакуогоспиталь 1585, а во время Сталинградской битвы оно было существенно повреждено (рис. 7).



Рис. 7. Здание Облземодела (быв. дом Божескова) на Октябрьской (Александровской) улице. Бывшее реальное училище. Намечено восстановить под среднюю школу. В 1941—1942 гг. здесь размещался эвакуогоспиталь 1585. Вид со стороны ул. Октябрьской (Александровской)³: публикуется впервые

После Сталинградской битвы бывший Дом Божескова планировали восстановить под среднюю школу, затем архитекторами А. С. Кулевым, Е. И. Обуховым, Л. И. Рубиным, А. М. Михайловой (интерьеры), Е. И. Ващенко (интерьеры) выполнен проект, объединивший бывший Дом Божескова и соседнее здание бывшей Александровской гимназии (до войны — Дом политпросвещения), в котором уже в 1944 г. разместились Сталинградский областной комитет КПСС и облисполком. Удачным архитектурным приемом стало применение ордерной системы, позволившей объединить оба здания в единый архитектурный комплекс. Правда, при этом практически весь наружный декор был убран, что привело к созданию совершенно других фасадов (рис. 8). Сейчас в здании размещаются администрация Волгоградской области и Волгоградская областная дума.

Воссоздание исторического «царицынского» фасада дома Божескова было начато с анализа достаточно качественной фотографии из архива архитектора А. Е. Пожарского. В его кандидатской диссертации 1954 г. «Некоторые вопросы советского градостроительства на примере Сталинграда» приведена фотография северо-восточного (торцевого) фасада здания, сделанная после окончания Сталинградской битвы (рис. 9). На ней можно увидеть самые мелкие детали декора, их взаимосвязь с соседними элементами. Основываясь на результатах обследования здания в 1932 г., анализе практически всех известных фотографий царицынского периода с применением ВМ-технологий, получили основные параметры деталей и геометрические размеры всего здания [12].

³ Музей архитектуры Царицына — Сталинграда — Волгограда. Фотофонды.



Рис. 8. Здание областного комитета КПСС и облисполкома (быв. дом Божескова). Архитекторы: А. С. Кулев, Е. И. Обухов, Л. И. Рубин, А. М. Михайлова (интерьеры), Е. И. Ващенко (интерьеры): публикуется впервые



Рис. 9. Областной земельный отдел (быв. дом Божескова) после Сталинградской битвы. Фасад со стороны ул. Воровского (Спасской) [13]: публикуется впервые

Это позволило воссоздать в деталях фасады одного из самых известных зданий Царицына конца XIX в., восхитившись мастерством строителей этого удивительного сооружения, сделать выводы о невосполнимых потерях, причиненных архитектуре нашего города в период Сталинградской битвы (рис. 10—12).

Виртуальное воссоздание с помощью технологии информационного моделирования представляет собой создание информационной модели, которая

позволяет не только получить представление об утраченных объектах в целом и его элементах в частности, но и стать основой для их физического воссоздания в макетном, виртуальном или даже реальном виде [14].

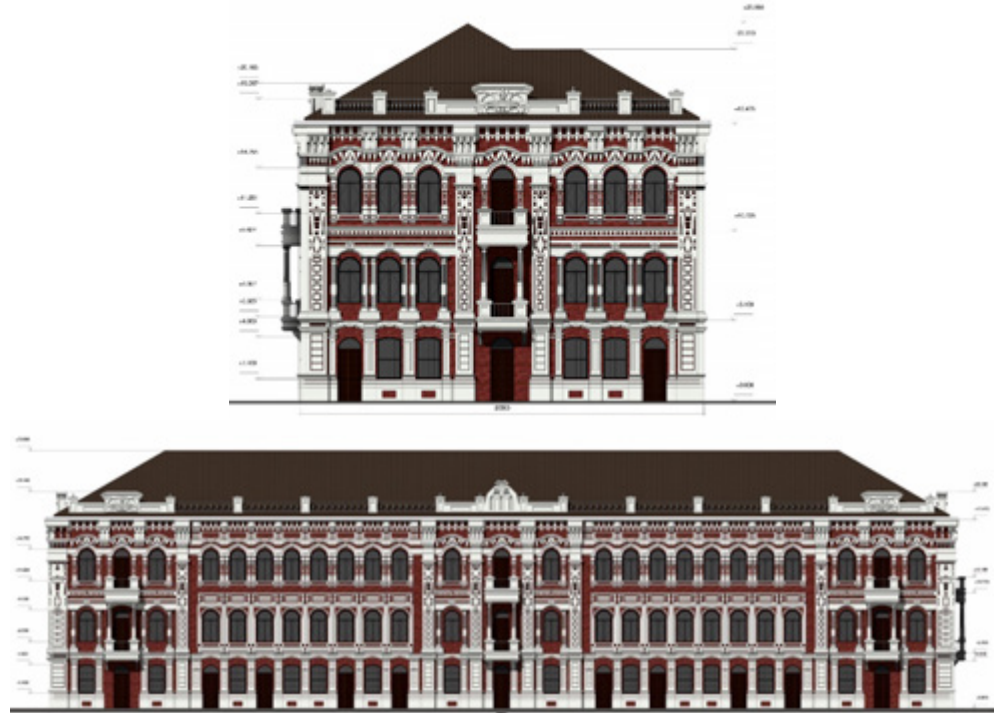


Рис. 10. Дом Божескова. Фасад по Александровской ул. Архитектурная реконструкция Е. Ю. Найко и Д. В. Соколовой, руководители — профессор П. П. Олейников, доцент О. Г. Мельникова (Музей архитектуры Царицына — Сталинграда — Волгограда)



Рис. 11. Дом Божескова. Северо-восточный фасад, фрагмент декора. Архитектурная реконструкция Е. Ю. Найко и Д. В. Соколовой, руководители — профессор П. П. Олейников, доцент О. Г. Мельникова (Музей архитектуры Царицына — Сталинграда — Волгограда)



Рис. 12. Царицын. Александровская улица. На переднем плане — дом Божескова. Архитектурная реконструкция Е. Ю. Найко и Д. В. Соколовой, руководители — профессор П. П. Олейников, доцент О. Г. Мельникова (Музей архитектуры Царицына — Сталинграда — Волгограда)

BIM обладает 5 функциями: визуализация, координация, моделирование, оптимизация и возможность работать с базой данных [15]. Наличие различных декоративных элементов здания позволило создать структурированную параметрическую библиотечную базу царицынского стиля, которая может быть широко использована как при физическом воссоздании объекта, так и при изучении этого стиля для дальнейшего использования в современном архитектурно-строительном направлении [16]. Поскольку BIM-технология позволяет вносить изменения в модель в любой момент работы⁴, то моделирование проводилось в несколько этапов, по мере поиска и уточнения информации вносились необходимые коррективы в модель. Процесс моделирования здания с помощью BIM-технологии связан с информационной базой данных, в которой каждому элементу модели можно присвоить дополнительные параметры. Особенность такого подхода заключается в том, что технология информационного моделирования архитектурных сооружений выступает одним из новых и стремительно развивающихся направлений в области актуализации и сохранения историко-культурного наследия. Применение BIM-технологии с целью музеефикации не только открывает новые возможности виртуального эксперимента, но и требует разработки новых методик компьютерного моделирования, специфических для памятников истории и архитектуры.

Выводы

Исследование 140-летней истории строительства и функционирования одного из самых известных зданий Царицына — Сталинграда — Волгограда позволило ответить на ряд важных вопросов: выявить особенности территории строительства, применяемых технологий и материалов, использования здания на разных этапах его существования.

1. Дом Божескова, созданный в конце XIX в., занял определенное место в структуре Волгограда. Несмотря на модернизацию в середине XX в., здание

⁴ 4D BIM Planning Process used at RNEST Refinery, Brazil. URL: <https://www.bimcommunity.com/experiences/load/165>.

не утратило своего градообразующего значения в планировочной структуре города.

2. Сделано предположение о причастности к проектированию дома Божескова городского техника Царицына Ф. И. Эрфурта.

3. Архитектурная реконструкция утраченных фасадов самого известного здания Царицына позволяет воссоздать архитектурный облик довоенного города, уничтоженного во время Сталинградской битвы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полонская А. А., Антюфеев А. В. Градостроительный и историко-культурный анализ комплекса зданий царицынской застройки по ул. Пугачевской г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 166—181.
2. Волжско-Донской листок. № 1859. 5 февраля 1897 г.
3. Волжско-Донской листок. № 577. 5 октября 1888 г.
4. Волжско-Донской листок. № 400. 13 августа 1887 г.
5. Волжско-Донской листок. № 1088. 29 января 1892 г.
6. Волжско-Донской листок. № 749. 15 ноября 1889 г.
7. Материкин А. В. Очерки истории Царицынской городской Думы. Ч. 1. (1797—1887 гг.). Изд. 2-е, перераб. Волгоград : ООО «Арт-линия», 2009. С. 84.
8. Волжско-Донской листок. № 577. 5 октября 1888 г.
9. Волжско-Донской листок. № 400. 13 августа 1887 г.
10. Олейников П. П. Архитектурное наследие Сталинграда : монография. Волгоград : Издатель, 2012. 557 с.
11. Государственный архив Волгоградской области (ГАВО). Ф. 312. ОП. 1. Л. 14.
12. Мельникова О. Г., Олейников П. П. Информационное моделирование зданий: опыт реконструкции памятников культурного наследия // Социология города. 2013. № 4. С. 72—80.
13. Пожарский А. Е. Сталинград — социалистический город: некоторые вопросы советской архитектуры на примере Сталинграда : монографическое исследование : дисс ... канд. арх. М., 1954. 326 с.
14. Amjed N. H., Sawsan M. R. The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry // Civil Engineering Journal. 2019. Vol. 5. No. 2. Pp. 412—421.
15. Li J., Yang H. A Research on Development of Construction Industrialization Based on BIM Technology under the Background of Industry 4.0 // MATEC Web Conf. 2017. Vol. 100. Pp. 2—8.
16. Zhang L. A BIM-data mining integrated digital twin framework for advanced project management // Automation in Construction. 2021. Vol. 124. Pp. 52—69.

© Олейников П. П., Мельникова О. Г., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Олейников П. П., Мельникова О. Г. Самый известный дом Царицына // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 164—175.

Об авторах:

Олейников Петр Петрович — канд. техн. наук, проф. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; poleynikov@mail.ru

Мельникова Ольга Геннадиевна — доц. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; grafdesing@mail.ru

Petr P. Oleinikov, Olga G. Melnikova

Volgograd State Technical University

THE MOST FAMOUS HOUSE OF TSARITSYN

Introduction. The purpose of the work is based on archival documents, a comprehensive study of the history of the functioning of the architectural monument of regional significance “The Building of the Regional Committee of the CPSU and the Regional Executive Committee (Administration of the Volgograd region) (House of Bozheshkov)”, to identify and analyze the architectural features of the object built in Tsaritsyn at the end of the XIX century.

One of the tasks is the development (restoration) of the historical facades of the house of Bozheshkov. The relevance of the research topic is related to the growing interest of society in the preservation of cultural and, in particular, architectural heritage of the region.

Method and materials. The results obtained are based on materials from archival collections, the use of modern BIM technologies in recreating the facades of a historical building.

Analysis. A comparative analysis of the ratio of the size and location of individual elements of the facade of the house of Bozheshkov was carried out to finally identify the features of the historical facade.

Results. The use of photographs of the XIX—XX centuries and the linear dimensions carried out on them made it possible to establish the most accurate dimensional characteristics of the building. The main conclusion of the study was the reconstruction of the historical “Tsaritsyn” facades of the house of Bozheshkov, lost in the 1940s, first during the Battle of Stalingrad, then during the design and construction on its basis of the main administrative building of Volgograd.

Key words: Tsaritsyn, architecture, Bozheshkov house, facade, decor, Volga-Don railway, fire, wall, foundation, merchant, BIM technologies.

For citation:

Oleinikov P. P., Melnikova O. G. [The most famous house of Tsaritsyn]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 164—175.

About authors:

Petr P. Oleinikov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; poleynikov@mail.ru

Olga G. Melnikova — Docent of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; grafdesing@mail.ru

УДК 711.4-112

В. В. Прокопенко

Волгоградский государственный технический университет

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАССЕЛЕНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ЭКОПОСЕЛЕНИЙ В СТРУКТУРЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Исследование посвящено территориальному планированию Волгоградской области. Проведен анализ различных районов области по обеспеченности доступом к социальным, культурным и экономическим ресурсам.

Ключевые слова: территориальное планирование, система расселения, устойчивость, градостроительная система, экопоселение.

Современное территориальное планирование системы расселения является комплексным подходом к развитию территории. Оно представляет собой систему инструментов, направленных на оптимизацию использования земельных ресурсов, что является средством для создания устойчивого социально-экономического развития территории [1—5].

Территориальное планирование системы расселения должно состоять из следующих этапов:

- анализа и оценки территориального потенциала;
- определения приоритетных направлений развития территории;
- формирования стратегии и концепции развития территории.

Рассматриваемые этапы включают планирование использования земель, модель разрабатываемой инфраструктуры, регулирование строительства и застройки, охрану окружающей среды, управление транспортной системой и многое другое.

Современное территориальное планирование системы расселения должно учитывать принципы устойчивого развития и социальной справедливости для обеспечения потребностей как современного, так и будущих поколений.

Любое расселение является сложной трансформируемой системой, обладающей возможностью самостоятельно организовываться и адаптироваться к внешним факторам. Расселение характеризуется численностью населения и другими критериями, зависящими от социальных, экономических, демографических и политических факторов.

Расселение как система подразделяется на региональное и локальное. Региональное представлено на уровне субъекта, района или его части. Локальная система расселения представлена сетью поселений в пределах небольшой территории, объединенных транспортной сетью, экономической и производственной деятельностью [6—9].

Современное расселение имеет следующие формы:

- сельская — поселения, представленные деревнями, селами, сельскохозяйственными поселками. Эту форму расселения можно встретить чаще всего в Индии, Китае, в странах Африки;

• оседлые, кочевые и полукочевые. Оседлая форма может быть как постоянной, так и временной. Временные поселения строятся на определенный срок. Кочевые и полукочевые формы расселения можно встретить в Центральной и Северной Африке, где население использует земли для сезонных горных или равнинных пастбищ;

- городская — города и поселки городского типа.

Формы расселения разделяются на следующие виды:

• рассеянное расселение, к нему относятся ферма и хутор;

• одиночное — представлено отдельными жилыми строениями. Данная форма расселения характерна для стран с развитым фермерским хозяйством, таких как Дания, США и др.;

• групповое расселение представляет собой городские и сельские населенные пункты. Скопление городов называют агломерацией. К сельскому виду расселения можно отнести станицу, село, деревню, аул.

Анализ системы расселения Волгоградской области

Административно-территориальное деление Волгоградской области (ВО) рассмотрено на различных стадиях градостроительного проектирования.

Расселение ВО как субъекта Российской Федерации сложилось в юго-западной части России в ЮФО вдоль р. Волги. ВО является государственно-территориальным образованием, полноправным субъектом РФ¹.

Административно-территориальное устройство ВО складывается из:

- сложившегося расселения на основе исторической деятельности, а также учитывая географическое положение и размер территории;
- уровня экономического и социального развития субъектов на территории области;
- численности проживающего населения;
- правильно организованного местного самоуправления и выполнения отдельных функций государственной власти;
- этнических и культурно-бытовых особенностей и образа жизни каждого человека.

ВО является неотъемлемой частью территории РФ. Она характеризуется границами, существующими на период подписания федеративного договора.

На территории области находятся следующие муниципальные районы: Алексеевский, Быковский, Городищенский, Даниловский, Дубовский, Еланский, Жирновский, Иловлинский, Калачевский, Камышинский, Киквидзенский, Клетский, Котельниковский, Котовский, Кумылженский, Ленинский, Михайловский, Нехаевский, Николаевский, Новоаннинский, Новониколаевский, Октябрьский, Ольховский, Палласовский, Руднянский, Светлоярский, Серафимовичский, Среднеахтубинский, Старополтавский, Суровикинский, Урюпинский, Фроловский, Чернышковский.

Помимо этого в ВО выделены следующие городские округа: Волгоград, Волжский, Камышин, Михайловка, Урюпинск, Фролово².

¹ Устав Волгоградской области. URL: <https://docs.cntd.ru/document/453115419?ysclid=lmdsuzdqms234716265>.

² Там же.

Все города, поселки городского типа и сельские поселения в ВО относятся к определенным муниципальным районам. Городское или сельское поселения являются частью административно-территориальной единицы территории, имеют регулярную или свободную застройку для постоянного или сезонного проживания³.

Поселок городского типа относится к городскому поселению, если численность населения составляет более 3000 жителей, занятых на промышленных предприятиях, стройках, имеются железнодорожные и автомобильные узлы, а также другие объекты производственной инфраструктуры.

К сельским поселениям относят населенные пункты, в которых жители заняты в основном сельским хозяйством — это станица, хутор, село, поселок⁴.

Административные центры районов и тяготеющие к ним поселения составляют основу административно-территориального деления ВО. Основной причиной является расположение развитой инфраструктуры, медицины, образования и других объектов обслуживания в центральных субъектах районов.

Население на территории ВО располагается неравномерно, большей частью недалеко от железных и автомобильных дорог, а также возле различных водоемов и акваторий, в т. ч. на берегу р. Волги. Такое расселение связано как с историческими особенностями расселения в данной области, так и с природными условиями территории.

Большая часть населения ВО проживает в городах и поселках городского типа. Согласно данным Росстата численность населения, проживающего в городских поселениях, составляет 1 978,3 тыс. чел., а в сельских поселениях — 556,9 тыс. чел. Таким образом, почти 77,5 % людей проживают в городах, и только 22,5 % — в сельских поселениях (рис. 1) [10].

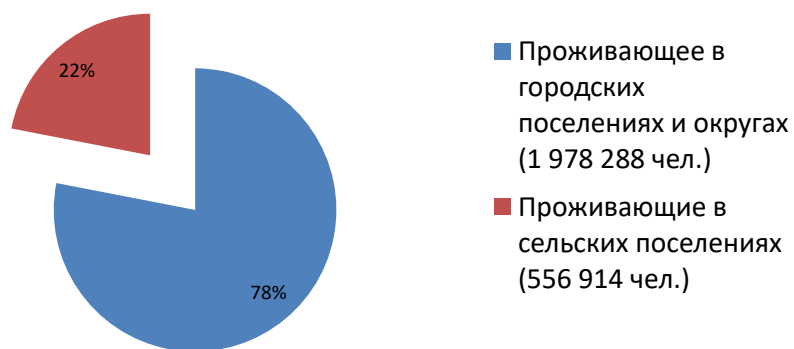


Рис. 1. Диаграмма населения ВО

Однако по занятой площади территории ВО ситуация отличается. Только 5 % территории региона отводится под городские поселения. Сельские поселения занимают 95 % всей территории (рис. 2) [10]. Это может являться

³ Об административно-территориальном устройстве Волгоградской области. Закон № 139-ОД Волгоградской области от 07.10.1997. URL: <https://docs.cntd.ru/document/804917414?ysclid=lmdt5h9p2t848386067>.

⁴ Там же.

показателем неравномерного расселения в области, относящегося к дисперсному типу расселения, который сложился исторически.

Большая часть территории ВО является свободной, что говорит о географическом потенциале развития территории и возможности создания и развития экопоселений.



Рис. 2. Диаграмма населенных пунктов ВО

Проблемы сельских территорий вызывают миграционные процессы [11—14]. Проблемы возникают из-за малых размеров населенных мест, дисперсности расселения, тяжелого физического труда, бесперспективности получения качественного образования и последующего трудоустройства в сельских населенных пунктах ВО. Это говорит о необходимости совершенствования и развития структуры сельского расселения для обеспечения устойчивого развития территорий в условиях современной экономики⁵.

Сельское население ВО сокращается постепенно. Так в 2023 г. оно составило 22 %, в 2014 г. — 23,6 % против 24,3 % 2008 г. Занятость в сельскохозяйственном производстве имеет обратную тенденцию. Жители, занятые сельским хозяйством в 2013 г., составляли 35,3 % сельского населения, а в 2010 г. — всего 31,6 % [15].

Анализ сельских населенных пунктов показал, что в период с 2010 по 2023 гг. преобладающими являлись поселения с численностью населения от 1000 до 2000 жителей. Они составляли в 2010 г. почти 50 %, в 2023 г. — 45,8 % от общего числа.

Следующими поселениями, преобладающими в ВО, являются населенные пункты с численностью жителей от 500 до 1000 чел. За анализируемый период их количество увеличилось на 23 единицы, что составило 34 % сельских поселений области.

Можно выявить тенденцию уменьшения поселений с численностью населения до 500 чел., на сегодняшний день они занимают всего 8,8 % в сравнении с 72 % 30 лет назад. Увеличивается количество более крупных по численности жителей поселений, более пригодных для создания комфортных условий проживания за счет развития производственной, бытовой, коммунальной и иной инфраструктуры.

⁵ Там же.

Градостроительные особенности территории ВО

Развитые промышленные и сельскохозяйственные комплексы обеспечивают необходимое и разнообразное количество рабочих мест для трудоспособного населения. Основной идеей стратегии ВО является создание мощного экономического центра с развитой инфраструктурой, курортно-рекреационных и сельскохозяйственных ресурсов при сохранении исторической ценности территории.

Сельские населенные пункты ВО находятся в непосредственной близости к городским поселениям, которые обеспечивают высокий уровень медицинских, образовательных и других услуг.

На территории региона пересекаются железнодорожные, воздушные, речные, автомобильные транспортные коммуникации. Однако проблемой является недостаточная развитость транспортной сети и ее низкое качество, не используется в полной мере потенциал воздушного и железнодорожного транспорта.

Недостаточное строительство новых жилых объектов, отсутствие необходимого количества земельных участков, обеспеченных инфраструктурой для строительства жилья, является одной из основных проблем региона в жилищной сфере.

Экологическая обстановка в области является сложной, однако наличие альтернативных источников энергии, таких как энергия солнца и ветра, постепенное внедрение их в производство, могут улучшить качество среды [16, 17].

Кроме того, ВО располагает колоссальными природными ресурсами. На ее территории расположены 7 особо охраняемых природных парков, общая площадь которых составляет свыше 600 тыс. га. Данные природно-рекреационные ресурсы могут и должны быть использованы для развития качественной среды в поселениях.

ВО, обладающая уникальными природными условиями и богатым культурно-историческим потенциалом, может рассматриваться как один из наиболее перспективных рекреационных регионов на юге России [18].

Территория ВО входит в состав рекреационного подрайона Нижнее Поволжье, района Поволжье, рекреационной зоны Европейский юг России, которая выделена схемой рекреационного районирования РФ [18].

На территории региона насчитывается более 190 рек, большая их часть находится в правобережье Волги и в бассейне Дона, превосходящих по количеству рек Волжский бассейн [18].

Исходя из мировой практики, наиболее экологичными и доходными формами использования таких земель засушливого пояса являются создание рекреационных зон и экопоселений, экологический туризм. Их экономическая эффективность резко возрастает при искусственном повышении и восстановлении лесистости, осуществлении комплекса гидромелиоративных мероприятий, инженерно-технического обустройства территорий, бережном природопользовании [18].

Для оценки развития поселений на территории ВО необходимо провести анализ ее пригодности для создания и развития экопоселений. Выбранные критерии экопоселений как градостроительных систем в данном исследовании являются основой для отбора территории.

Архитектурно-планировочные и инженерно-технические критерии различны во всех поселениях. Существующее состояние зависит от населенного места и может сильно отличаться даже в границах одной административно-территориальной единицы.

Таким образом, на развитие модели экоселений на территории ВО наибольшее влияние оказывают природно-географические и социально-экономические критерии.

Природно-географические критерии характеризуются климатическими и почвенными условиями и наличием рекреационных зон. Социально-экономические критерии поселений опираются на доступность для жителей поселения административного центра области, численность населения административных районов поселений и наличие производства.

Климатические зоны ВО можно разделить на 3: степная, сухостепная и полупустынная.

Преобладающей зоной является степная, расположенная на северо-западе региона. Четверть территории занято сухостепной зоной в восточной части. Наименьшую часть ВО составляет полупустынная зона, занимая всего 12 % на юге (рис. 3).



Рис. 3. Распределение природных зон ВО

Выделяют 3 основные почвенные зоны на территории ВО. Они представлены черноземными, темными каштановыми и интразональными (светлыми каштановыми) почвами (рис. 4).

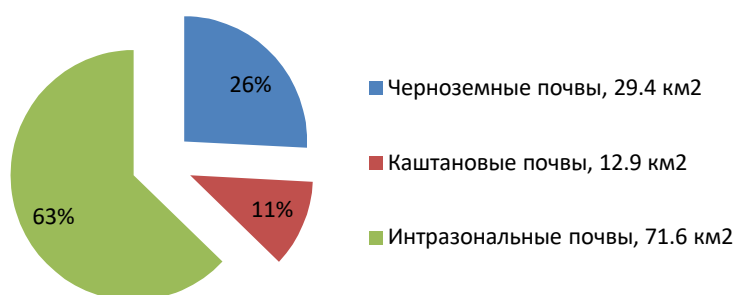


Рис. 4. Распределение почвенных зон ВО

Черноземные почвы располагаются в ВО на северо-западе и составляют около четверти всей территории. Темные каштановые почвы занимают наименьшую часть территории области — 11 %, находясь в северной и западной

сторонах. Основную часть области занимают интразональные почвы — 63 %, располагаясь в южной, восточной и северо-восточной частях региона.

Рекреационную зону составляют природные заказники: Дрофиньин, Задонский, Куланинский, Лещевский, Ольховский, Раздорский, Чернополняский. Площадь зоны составляет 2 % от территории региона (рис. 5).

Наименьшую площадь территории занимают охраняемые ландшафты и курортно-оздоровительные зоны. Охраняемый ландшафт представлен Свиридовскими озерами — уникальным природным комплексом, состоящим из системы озер. Они имеют большое значение, являясь местом обитания для исчезающих и редких видов животных. Лечебно-оздоровительный комплекс представлен месторождением минеральных вод Горная Поляна, расположенном в Кировском районе Волгограда. К данной зоне можно отнести и 15 памятников природы.

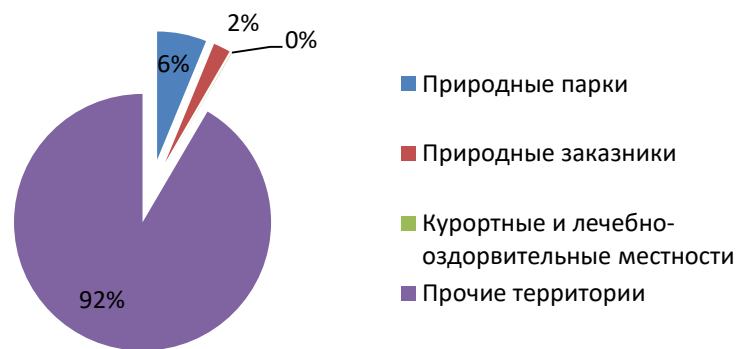


Рис. 5. Распределение рекреационных зон ВО

Доступность административного центра г. Волгограда для жителей ВО подразделяется на 3 уровня в зависимости от радиуса доступности: менее 100 км, от 100 до 200 км, более 200 км.

На расстоянии менее 100 км от Волгограда находятся Октябрьский, Светлоярский, Калачевский, Городищенский, Среднеахтубинский, Ленинский, основная часть Иловлинского, Дубовского районов (рис. 6).

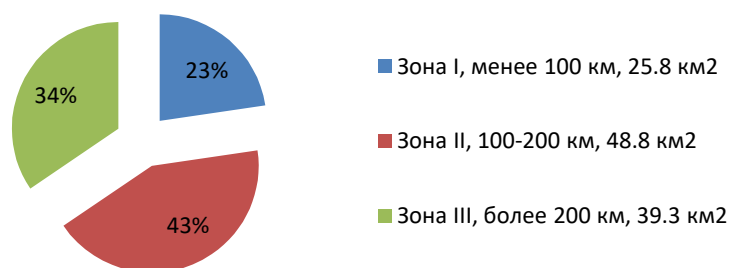


Рис. 6. Доступность административного центра г. Волгограда

Административные центры муниципальных районов области различны по численности населения: более 20 тыс., 10—20 тыс., 5—10 тыс., менее 5 тыс. чел.

Почти в третьей части административных центров ВО проживает более 20 тыс. населения. К таким поселениям относятся: Волгоград, р. п. Городище, Калач-на-Дону, Котельниково, Фролово, Михайловка, Урюпинск, Камышин и Котово (рис. 7).

Основную долю составляют административные центры с численностью населения 10—20 тыс. жителей. К ним относятся: Светлый Яр, Средняя Ахтуба, Ленинск, Суrowикино, Дубовка, Иловля, Серафимович, Николаевск, Палассовка, Жирновск, Новоаннинский, Новониколаевский (см. рис. 7).

Следующую зону составляют поселения от 5 до 10 тыс. жителей: Октябрьский, Чернышковский, Клетская, Кумылженская, Быково, Ольховка, Елань, Преображенская, Рудня (см. рис. 7).

Наименьший процент составляют центры с численность населения менее 5000 чел. Они представлены поселениями: Алексеевская, Нехаевская, пгт. Даниловка, Старая Полтава (см. рис. 7).

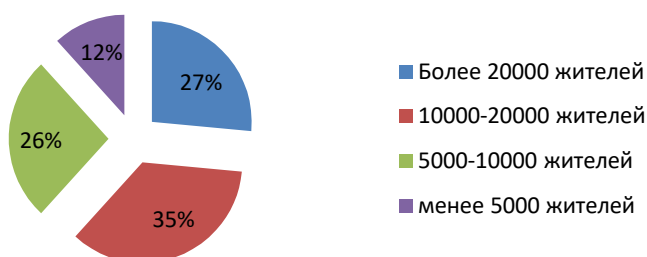


Рис. 7. Распределение по численности населения административных центров ВО

По экономической деятельности и роду занятий населения выделяют промышленный и сельскохозяйственный комплексы, а также сферу туризма.

Промышленный комплекс хорошо развит в городских округах Волгоградской области и представлен в различных направлениях. Котовское сельское поселение имеет также развитую промышленность. В остальных сельских поселениях промышленность присутствует в недостаточном количестве либо отсутствует (рис. 8).

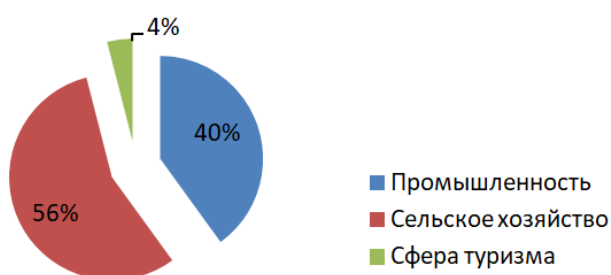


Рис. 8. Распределение видов экономической деятельности на территории ВО

На территории ВО преобладает сельскохозяйственная деятельность. Она представлена во всех сельских поселениях, за исключением Котовского и 6 городских округов. Сельское хозяйство является единственным видом деятельности у 12 сельских поселений из 33 районов ВО (см. рис. 8).

Сфера туризма имеет наименьшее распространение на территории региона. Развитая инфраструктура для туризма имеется только в Среднеахтубинском, Палассовском и Иловлинском районах (см. рис. 8).

Анализ критериев показал многообразие ресурсов ВО. На территории региона преобладает степная зона, светлые каштановые почвы и сельскохозяйственная деятельность. Часть территории занята природными парками, в которых сохранились природные ландшафты. Площадь области достаточно велика, поэтому административные центры муниципальных образований находятся на расстоянии более 100 км, численность населения в большинстве из них составляет 10—20 тыс. чел.

Современное территориальное планирование системы расселения требует учета различных групп факторов: демографии, экономики, экологии, социальных аспектов, архитектурно-градостроительных, этнографических и др. Современная система расселения основана на принципах междисциплинарного подхода и сотрудничества различных заинтересованных сторон — правительственных органов, муниципалитетов, бизнеса, общественности и академического сообщества.

Результатом эффективного территориального планирования системы расселения является достижение устойчивого развития территории, что позволит повысить ее социально-экономический потенциал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герцберг Л. Я. Устойчивые города. Формирование градостроительных предпосылок. Ч. 1. // *Academia. Архитектура и строительство*. 2022. № 3. С. 69—76.
2. Герцберг Л. Я. Устойчивые города. Формирование градостроительных предпосылок. Ч. II // *Academia. Архитектура и строительство*. 2022. № 4. С. 123—129.
3. Бухвальд Е. М. Муниципальное пространственное стратегирование: особенности и основные задачи // *Проблемы развития территории*. 2022. Т. 26. № 3. С. 8—23.
4. Urban greenness, mixed land-use, and life satisfaction: evidence from residential locations and workplace settings in Beijing / W. Wu, W. Y. Chen, Y. Yun, F. Wang, Z. Gong // *Landscape and Urban Planning*. 2022. Vol. 224. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2022.104428.
5. Rząsa K., Ogryzek M., Żróbek R. The land transfer from the state treasury to local government units as a factor of social development of rural areas in Poland // *Land*. 2019. Vol. 8. Iss. 11. P. 170.
6. Герцберг Л. Я. Перспективы развития региональных систем расселения с учетом новой социально-экономической политики // *Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2011 г. : научные труды РААСН: в 2 т. Т. 1. М. : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2012. С. 34—43.*
7. Кондратьева В. И., Степанова Н. А., Маркова В. Н. Пространственные аспекты стратегического планирования развития муниципального района // *ЭКО*. 2018. № 5(527). С. 179—192.
8. McConnell W. J., Viña A. Interactions between food security and land use in the context of global change // *Land*. 2018. Vol. 7. Iss. 2. P. 53.
9. Shcherbina E., Gorbenkova E. Factors influencing the rural settlement development // *IFAC-PapersOnLine*. 2019. Vol. 52. Iss. 25. Pp. 231—235.
10. Прокопенко В. В., Ганжа О. А., Растяпина О. А. Формирование экологических поселений на территории Волгоградской области // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2020. Вып. 2(79). С. 233—244.
11. Щербина Е. В., Горбенкова Е. В. Оценка факторов, обеспечивающих устойчивое развитие сельских поселений // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2016. № 4(16). С. 97—105.
12. Shcherbina E.V., Gorbenkova E.V. Cluster approach in rural settlement development // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 753. Pp. 032086.

13. Zhao Y., Leng H., Sun P., Yuan Q. Application and validation of a municipal administrative area spatial zoning model in village-town system planning // Sustainability. 2019. Vol. 11. Iss. 7. P. 1855.
14. Ilvitskaya S., Prihodko V. Innovative technologies in the field of topography, land management, territorial planning, construction and architecture // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Pp. 022030.
15. Зубова О. Г., Михайлова Е. В. Основные направления оптимизации системы расселения сельского населения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 7(129). С. 153—158.
16. Friedmann J. Strategic spatial planning and the longer range // Planning Theory & Practice. 2004. Vol. 5. Iss. 1. Pp. 49—67.
17. Gamboa F. A. G., Henríquez E. M. M. Impact of the tourism activity on poverty: Evidence for Chilean municipalities using a spatial approach // Investigaciones Turísticas. 2022. Vol. 23. Pp. 186—209.
18. Чернявский Ю. В., Манаенков А. С., Кулик А. К. Роль рекреационных и бальнеологических ресурсов в развитии Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3(35). С. 97—103.

© Прокопенко В. В., 2023

Поступила в редакцию
в мае 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Прокопенко В. В. Анализ перспективы территориального планирования системы расселения и размещения экопоселений в структуре Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 176—185.

Об авторе:

Прокопенко Вячеслав Валентинович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; v.v.p_24@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8161-9766

Vyacheslav V. Prokopenko

Volgograd State Technical University

ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR TERRITORIAL PLANNING OF THE SETTLEMENT SYSTEM AND THE PLACEMENT OF ECO-SETTLEMENTS IN THE STRUCTURE OF THE VOLGOGRAD REGION

The study is devoted to the analysis of territorial planning of the Volgograd region. The analysis of various districts of the region to ensure access to social, cultural and economic resources is carried out.

Key words: territorial planning, settlement system, sustainability, urban planning system, eco-settlement.

For citation:

Prokopenko V. V. [Analysis of the prospects for territorial planning of the settlement system and the placement of eco-settlements in the structure of the Volgograd region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 176—185.

About author:

Vyacheslav V. Prokopenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; v.v.p_24@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8161-9766

УДК 72.01:712:379.85

И. А. Дубов, О. А. Антюфеева

Волгоградский государственный технический университет

АРХЕОПАРК КАК ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Статья посвящена исследованию социокультурной роли археопарков, выявлению различных подходов к экспонированию и актуализации объектов археологического наследия. Определяется туристическая, экологическая и рекреационная функции археологических музеев под открытым небом. Популярность подобных музейных организаций на первый план выдвигает необходимость выявления ключевых направлений, тем, сюжетов и инструментов культурно-познавательного туризма. Определены региональный и этнонациональный подходы и их влияние на построение экспозиции. Рассматриваются принципы и подходы градостроительного проектирования территорий археопарков с использованием современных цифровых технологий. Определены мультимедийные технологии в создании экспозиций и их возможности воздействия на человека. Выявлены подходы к интерпретации археологического наследия, позволяющие расширить функциональную организацию археопарков: «живая история», «экспериментальная археология» и «глубокий туризм».

Ключевые слова: археопарк, музей под открытым небом, функционально-планировочная организация территории, экспонирование, интерпретация, культурное наследие, археологическое наследие, актуализация, глубокий туризм, живая история.

Археопарки как и археологические музеи под открытым небом — полифункциональные комплексы, сочетающие в себе задачи музеефикации, туристического, коммерческого и образовательного центра. Самые успешные музеи являются настоящими флагманами не только для себе подобных организаций, хотя и не могут сравниться по количеству посетителей в год с такими развлекательными организациями как «Диснейленд», но привлекают значительное число посетителей. Так в 2021 г. Севастопольский музей-заповедник «Херсонес Таврический» посетили 1 082 160 человек, а в 2016 г. рекордные 1,12 млн посетителей.

Термин «археопарк» трактуется довольно широко как особый тип музейного объекта, направление туристической деятельности, как центр интерпретации. С точки зрения типологии археопарк — это археологический музей под открытым небом, тематический парк, этнопарк, центр интерпретации, этнодеревня, ферма, археодром, геолого-археологический или природно-археологический заповедник [1].

Помимо музейной функции археопарк представляет собой «туристическое направление, маркетинговый продукт, элемент идентичности, политический инструмент, демонстрацию эрудиции, образовательный инструмент, место для отдыха, источник вдохновения...» [2].

Определение Международной ассоциации археологических музеев под открытым небом и экспериментальной археологии (EXARC): «Археологический музей под открытым небом — это постоянно действующее некоммерческое учреждение с архитектурными реконструкциями в точном масштабе под открытым небом, основанными на археологических источниках. Он содержит коллекции ресурсов нематериального наследия и дает интерпретацию того, как люди жили и действовали в прошлом; это достигается в соответствии

с надежными научными методами в целях образования, изучения и развлечения для посетителей)».

Таким образом, археопарки или археологические музеи под открытым небом являются одним из основных инструментов экспонирования археологического наследия. Они непосредственно связаны с археологическими памятниками и одновременно представляют своим посетителям интерпретацию прошлого. Археологическое наследие характеризуется интерпретативностью составляющих структурных единиц — памятников, артефактов и искусственно конструируемых на их основе систем экспозиций [3]. В отличие от музеев в традиционном понимании эти объекты обладают значительной площадью и разнообразием представляемых для осмотра артефактов, имеют превосходящее среднегодовое количество посетителей. Так, 343 археологических музея в Германии привлекли в 2008 г. 16,4 млн посетителей [2].

Градостроительные подходы к организации территорий, используемых в музеях под открытым небом, разнообразие содержания обуславливают популярность данного вида экспонирования и их широкое распространение [4].

Актуальность исследования заключается в изучении необходимости дальнейшего развития археопарков и их социокультурного и функционального содержания. Представляет интерес выявление принципов их архитектурно-пространственной и функциональной организации.

Целью статьи является анализ функций современных археопарков и определение основных подходов к экспонированию археологического наследия.

Археопарки представляют полифункциональные объекты, сочетающие сохранение и изучение исторического наследия, природных и исторических ландшафтов, научную, образовательную и рекреационную деятельность. Прежде всего деятельность археологического музея под открытым небом направлена на ознакомление с историко-культурным наследием общества [5]. Посетители археопарков получают специфический взгляд на историю и культуру, повествование о повседневной жизни прошлого.

Для археологических парков характерно размещение на территории исследовательских лабораторий, зон для постоянного и временного пребывания специалистов по исследованию раскопа, а также зон для студентов и учеников школ, где они могут ознакомиться с оборудованием, используемым для проведения археологических мероприятий с практической составляющей. К примеру, учреждениями ассоциации земли Гессен (Германия) организуются специальные выставки, экскурсии по археологическим памятникам, раскопки и исследования экспериментальной археологии, мероприятия для всей семьи, а также активные программы для школьных занятий, лекции и семинары.

Источниками для определения темы, сюжетов, объектов реконструкций, обстановки для археологических музеев под открытым небом выступают, в первую очередь, археологические и исторические данные. Как правило, археопарки характеризуются географической специфичностью, отличаются региональностью, демонстрируют этнонациональное прошлое определенной эпохи или ряда периодов. «Любая этнонационалистическая модель прошлого строится на утверждении о необычайной древности (если не исконности) своей этнической культуры и языка в целом, и на занимаемой ныне территории в особенности, ценность археологических памятников в контексте формирования современных этногенетических мифов представляется достаточно высокой» [6].

Например, «Исторический парк» (член Международной ассоциация археологических музеев под открытым небом и экспериментальной археологии EXARC с 2016 г.) располагается в 33 км от города Варна (Болгария). На рисунке 1 показана схема парка, включающая в себя зоны, связанные с определенными историческими эпохами: неолит, средневековье, фракийцы, римляне, Первое Болгарское царство, Второе Болгарское царство, славянское поселение, праболгарское поселение. Фрагмент миссии, изложенной на сайте парка: «Современный болгарин является преемником таких великих цивилизаций, живших на наших землях... Мы в „Историческом парке“ решили продемонстрировать всему миру трудолюбие и созидательный гений нашего народа».

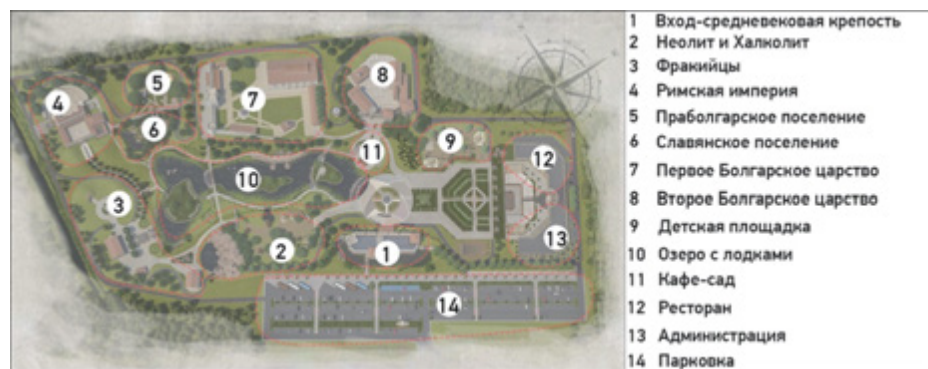


Рис. 1. План «Исторического парка», Болгария: функциональные и исторические зоны парка

Археологические музеи под открытым небом предоставляют посетителям смесь переживаний пребывания на свежем воздухе и познавательных развлечений. Для археологического парка важной составляющей является исторический ландшафт, сформировавшийся в результате длительного взаимодействия человека и природы. Экологический подход к проектированию представляет собой создание природно-экологического каркаса, один из этапов — выявление особо охраняемых природных территорий и природных объектов, опорных звеньев природно-экологического каркаса, памятников археологии.

Туризм является не только инструментом заработка, но и катализатором социальных преобразований. Достопримечательности культурного туризма все чаще используются для изменения общества или для расширения его возможностей. Экономическое влияние и социальная значимость археологических музеев под открытым небом важны для местного населения.

Коммуникация и презентация чаще осуществляются экскурсоводами и, в меньшей степени, с помощью путеводителей или аудиогидов. Они могут быть в форме экскурсий, демонстраций старинных ремесел, мероприятий «живой истории».

Экскурсия происходит в реальном пространстве физических объектов, среди экспонатов или культурных объектов, строится на их показе квалифицированным специалистом — экскурсоводом. Он передает публике взгляд на исторические события или объект, дает собственную оценку фактов.

Демонстрация памятников включает различные объекты истории и культуры, показ и рассказ в экскурсии существуют неразрывно [7]. Во многих случаях посетители историко-культурных объектов — люди, которые не ходят в музей, не посещают археологические раскопки и не читают об этом книг, часто могут не осознавать всей ценности культурного наследия. Поэтому важна правильная интерпретация и репрезентация исторических сведений в процессе актуализации и сохранения знания [8]. Для того, чтобы стимулировать интерес посетителей, экспозиция должна эмоционально вовлечь и связать информационное сообщение с опытом посетителя.

С позиций градостроительного подхода к проектированию археопарк рассматривается как сложная, многоэлементная и полифункциональная система. Процесс проектирования включает необходимое информационное обеспечение, исходные данные, условия и существующие факторы, данные исследований, нормативы как общие, так и относящиеся к специфике данного региона [9]. Важным направлением исследований является выявление туристического спроса.

Прогнозирование количества посетителей — необходимое условие при проектировании археопарков, находит выражение в их архитектурно-пространственной организации, также влияет на пропускную способность инфраструктуры, позволяет определить социальные, экономические, экологические последствия для региона и территории. Определение туристического спроса опирается на культурно-исторические, рекреационные, и территориальные ресурсы с учетом плотности распределения выявленных археологических памятников, их принадлежность к определенному историческому периоду, транспортные схемы прибытия туристов, климатические факторы, государственные и этнорегиональные праздники, культурную привлекательность объектов-аналогов и др. Источники данных характеризуются неоднородностью. Современный подход к проектированию сложной многофакторной, многокомпонентной системы может успешно решаться с применением цифровых инструментов на основе искусственного интеллекта, модели глубокого обучения — усовершенствованные модели искусственных нейронных сетей [10].

Интерпретация наследия получила развитие в ряде европейских стран. Эта концепция приобрела популярность благодаря достижениям в области экологического образования и новой музейной практики, включая эко-музеи и общественные музеи. Способствовали популяризации и благоустройство охраняемых природных территорий, осознание необходимости сохранения и актуализации культурного и природного наследия, высокий интерес к нему у потребителя, который все чаще ищет места, сочетающие культурно-исторические достопримечательности с образованием и отдыхом [11].

Интерпретация в музеях «под открытым небом» происходит на различных уровнях:

- личных ощущений и эмоционального отклика;
- общего восприятия;
- информации;
- синтеза науки и искусства;
- детского восприятия.

Наличие подлинных артефактов не свидетельствует о достоверности подачи информации, как в вопросах изготовления декораций, так и в проводимых развлекательных мероприятиях. Но одни лишь музейные предметы не дают полного представления и требуют использования аттрактивных подходов и вспомогательного научного материала. Гипотетический характер реконструкций обусловлен недостаточной изученностью древних исторических эпох. Реконструкции необходимы, так как позволяют посетителям в наглядной форме ознакомиться с особенностями жизни и быта людей прошлого.

Зачастую сложно говорить о достоверности интерпретируемой информации. Объекты и предметы могут демонстрировать информацию с достаточной степенью условности, это зависит от различных факторов, в т. ч. могут служить текущей политической повестке. «Однако может произойти как неокончательное раскрытие смысла, так и его подмена в качестве результата неверной интерпретации, обусловленной, например, политической ситуацией и господствующей идеологией. В этом случае, конечно, актуализация смыслов оказывается ложной, поскольку не происходит действительного обогащения смыслового потенциала, содержащегося в культурном наследии. Напротив, можно наблюдать процесс обеднения и формализации его смысла в угоду текущему моменту, какой-либо социальной группе и т. д.» [9].

В настоящее время в ряде западных стран приобрели популярность музейные организации — центры интерпретации (англ. *Interpretation centre*). Это тип музеев под открытым небом, их деятельность направлена на сохранение и популяризацию регионального культурного наследия. Основное отличие от традиционных музеев, «музеев-витрин» — центры интерпретации не занимаются созданием коллекций артефактов. Деятельность по изучению объектов культурного наследия происходит через образовательные или просветительские процессы. Центры интерпретации применяют зрелищные подходы, что дополнительно стимулирует эмоциональную вовлеченность у потребителей.

Историко-культурное наследие связано с сохранением уникальной этнонациональной памяти и культуры региона [6].

Актуализации археологического наследия в музее под открытым небом в различные исторические периоды рассматриваются через призму различных парадигм: «отсутствие прошлого», «память-преемственность» и «культурный диалог».

В основе парадигмы, именуемой «отсутствие прошлого», лежит идея статичности. Это связано со специфическим восприятием истории и прошлого. Прошлое неотделимо от настоящего, актуализация наследия при этом не нужна. Такое восприятие характерно для античности и средневековья, концепт «культурное наследие» в этот период не сформирован.

В основе парадигмы «памяти-преемственности» лежат установки:

- эволюционное, научно обоснованное развитие;
- исключительное культурное значение наследия;
- очевидная ценность памятников, долг сохранения знания перед предыдущими поколениями;
- восприятие наследия как объективного, монументального;
- выраженный субъект-объектный характер презентации наследия в музейных институтах;
- музей-витрина; игнорирование современных технологий интерпретации.

«Культурный диалог» сочетает в себе наиболее эффективные практики, позволяющие осуществлять связь на ценностно-смысловом уровне между современным человеком и человеком прошлого, такие как: «экспериментальная археология», «глубокий туризм», «живая история», виртуальные практики [6].

Мастерские ремесел, исторические мастерские, этнодеревни, музеи «живой истории» носят образовательный характер и ориентированы на детей, интерпретируют культурно-историческое знание. В мастерских школьники погружаются в особую атмосферу и делают своими руками то, что делали люди в прошлом. В отличие от школьных уроков, где единственными инструментами являются академические и вербальные навыки, историческая мастерская предлагает другой тип инструментов: практические навыки, работу ума и историческое сознание.

Различные зоны «живой истории» практического археологического музея под открытым небом Bajuwarenhof Kirchheim (Мюнхен, Германия) показаны на рис. 2.



Рис. 2. Карта практического археологического музея под открытым небом Bajuwarenhof Kirchheim, Мюнхен, Германия

Зоны могут включать в себя ремесленные мастерские по изготовлению керамики, ткацкие мастерские, уроки приготовления пищи, сельского хозяйства. Ремесленные навыки в исторической мастерской относятся к соответствующему периоду и месту и могут включать, например, разведение костра, возделывание земли, изготовление тканей или керамики. Демонстрации этих навыков недостаточно, требуется выйти за рамки технического или технологического подхода к артефактам и их использованию. Умственные навыки требуют мысленного погружения в жизнь людей прошлого — недостаточно сосредоточения на предмете, необходимо размышлять о том, как он использовался людьми в прошлом.

К «живой истории» относят такие мероприятия, как музыкальные или драматические театрализованные постановки, историческая битва или сражение, мастерские ремесел, фестивали и ярмарки.

При разработке концепции архитектурно-пространственной организации археопарка требуется учет особенностей детского восприятия. Детской аудитории интересны развлекательные современные аттрактивные приемы: игры, спектакли, квесты, мультимедийные подходы. Все это дает возможность стать участником событий, использовать двигательную-моделирующую жестикуляцию, что повышает уровень усвоения информации.

Историческое сознание определяется как взаимодействие между интерпретацией прошлого, пониманием настоящего и ожиданием будущего. Такой подход намного больше, чем знакомство с предметами археологии или истории.

«Глубокий туризм» (англ. *Deep tourism*) — это участие в полевых археологических исследованиях и, прежде всего, в раскопках археологических памятников. Глубокий туризм — одно из направлений привлечения посетителей к полевым работам, участия в раскопках. Экспериментальная археология приносит большую пользу в интерпретации археологических раскопок, в «оживлении» истории, в использовании образовательных методов, включающих практическую работу.

Целью экспериментальной археологии является проверка гипотез и теорий, которые способствуют археологическим исследованиям и интерпретации, на рис. 3 представлена схема процесса экспериментальной археологии.

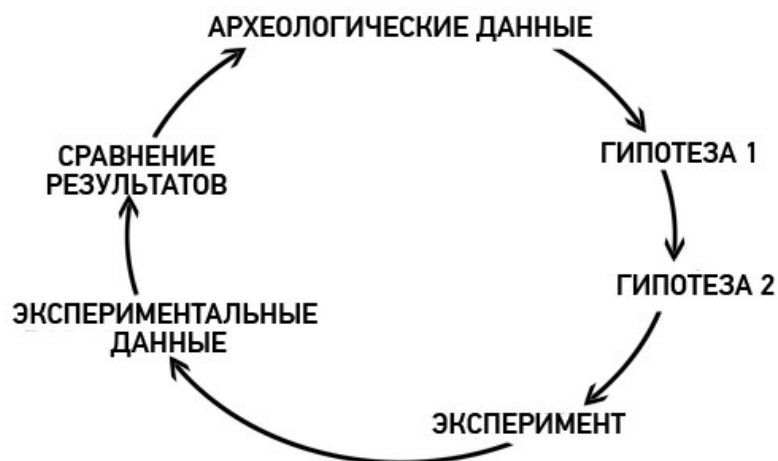


Рис. 3. Схема функционирования экспериментальной археологии

При создании современных археологических комплексов активно используется медиаархитектура — новое явление на стыке архитектуры и новейших мультимедийных технологий, передает медиасообщение в развлекательно-зрелищной форме, использует эффекты, ориентирована на массовую аудиторию [12]. Она захватывает внимание, активно воздействует на чувства адресата, вызывая эмоции и побуждая к действиям [13].

Вовлечение посетителя подразумевает наличие меню опций, возможность выбора вариантов. Виртуальные практики актуализации наследия включают в себя 3 уровня: виртуальная реальность, дополненная реальность,

презентация в сети интернет [14]. Молодежь многозадачна и усваивают информацию иначе, чем их родители, активно использует компьютеры и гаджеты, мобильные телефоны и различные приложения. На рисунке 4 — примеры приложений археопарков «Cambodunum» (Кемптен, Германия) и «Херсонес Таврический» (Севастополь, Россия) [15].

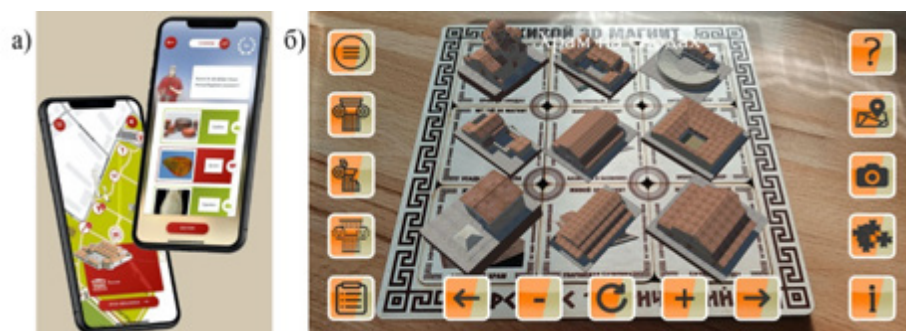


Рис. 4. Интернет-приложения археопарков: *а* — цифровой компаньон археологического парка «Cambodunum», Кемптен, Германия; *б* — экран дополненной реальности, ФГБУК Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический», Севастополь, Россия

При архитектурно-планировочной организации территории археопарков используются такие приемы медиаархитектуры, как различные режимы работы освещения, пространства и интерьера, интерактивные карты, медиафасады зданий, информационные экраны при экспонатах, что создает эффект глубокого погружения в историю [16]. Диорамный метод показа с применением цифровых технологий позволяет демонстрировать в павильонах реконструкции окружающей среды и быта древнего человека [17].

Продуктивные интерактивные практики актуализации культурного наследия позволяют «включить» зрителя, но требуют подхода, исключающего наличие факторов, затрудняющих восприятие [6]. Археопаркам необходимо стать полифункциональными и трансформируемыми социокультурными общественными пространствами [18]. Концепции, которые хорошо зарекомендовали себя в 1970-е гг., теперь нуждаются в более профессиональном подходе из-за высоких ожиданий: «достопримечательности наследия должны постоянно обновляться и повышать качество, чтобы соответствовать изменениям на рынке» [2].

Археологические тематические мероприятия и реконструкции — это привлекательный подход к интерпретации прошлого, которые «эволюционировали» из дней открытых дверей на раскопках. Например, в музее под открытым небом в Нидерландах НОМЕ (Historisch Openlucht Museum Eindhoven) в 1980-е гг. дни открытых дверей были наиболее частым мероприятием. В 1990-е гг. самым популярным событием был рынок викингов. НОМЕ — археологический музейный комплекс, в его составе: реконструкции жилых зданий (Железного века и Средневековья). Состав музея под открытым небом, показанный на рис. 5, включает различные павильоны торговли и обслуживания посетителей, реконструкцию некрополя и животноводческой фермы средневекового периода [19].



Рис. 5. Схема музея под открытым небом НОМЕ (Historisch Openlucht Museum Eindhoven), Эйндховен, Нидерланды

Мероприятия, проводимые в археопарке, основаны на надежной археологической информации, но зачастую просто вдохновлены прошлым. Актуализация археологического наследия представляет собой процесс создания музейных комплексов, различных экспозиций, выставок, туристических маршрутов, экскурсий [20]. Большинство музеев под открытым небом функционируют как археологические образовательные центры. Это хороший способ привлечь дополнительную публику. Группы школьников или студентов посещают музеи в каникулы, увеличивая количество посетителей в межсезонье.

Стабильное развитие археологическим музеям под открытым небом способны обеспечить полифункциональная градостроительная организация и возможности трансформации. Образовательная функция, экспериментальная археология и туризм являются основными направлениями деятельности во многих современных археологических музеях под открытым небом [21]. Археопарки заимствуют технологии актуализации из других музейных организаций, таких как центры интерпретации наследия и подобных учреждений, но при этом сохраняют свой собственный характер. В разработке градостроительной организации археопарка необходимо учитывать интересы всех представителей общества, различных возрастных групп. Развлекательные элементы и приемы хорошо зарекомендовали себя при работе с детской аудиторией.

Археопарки могут рассматриваться как одно из направлений формирования позитивного отношения к региону как через представление истории для посетителей, в т. ч. иностранных туристов, так и через научное взаимодействие в области изучения археологии и истории, поддерживающее этнонациональную модель прошлого своего региона.

Проблема актуализации археологического наследия требует взвешенного подхода в силу своей междисциплинарности. Такие технологии интерпретации наследия, как «живая история», «экспериментальная археология» и «глубокий туризм» оказывают влияние как на построение экспозиции археологических артефактов, так и на градостроительную организацию парка в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кепин Д. В.* Концептуальные подходы к проектированию «археопарков» // Вопросы музеологии. 2013. № 2(8). С. 150—159.
2. *Paardekooper R.* The value of an Archaeological Open-Air Museum is in its use. Exter : Sidestone Press, University of Exter., 2012. 347 p.
3. *Андреев В. М.* Интерпретативность археологического наследия и его музейная презентация // Фундаментальные исследования. 2014. № 11—1. С. 195—200.
4. *Gonzalvo C.* Centro de interpretación San Esteban. URL: <https://www.beta-architecture.com/centro-de-interpretacion-san-esteban-miguel-ubarrechena>.
5. *Paardekooper R. P.* Archaeological Open-Air Museums as Time Travel Centres. Lunds Archaeological Review // Lund Department of Archaeology and Ancient History. Lund : University of Lund Press, 2010. Pp. 61—69.
6. *Каменский С. Ю.* Актуализация археологического наследия в современных социально-культурных практиках : автореф. дисс... канд. культурологии. Екатеринбург, 2009. 26 с.
7. *Птичникова Г. А., Антюфеев А. В.* Город, река и архитектура // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 350—362.
8. *Максимов О. Г., Семягина Е. А.* Археолого-этнографические парки. Опыт дипломного проектирования // Архитектура и строительство России. 2014. № 2. С. 18—23.
9. *Логинова М. В.* Актуализация культурного наследия в контексте задач современной культурной политики // Сфера культуры. 2021. № 4(6). С. 73—79.
10. Group pooling for deep tourism demand forecasting / Y. Zhang, G. Li, B. Muskat, R. Law, Y. Yang // Annals of Tourism Research. 2020. Vol. 82. DOI:10.1016/j.annals.2020.102899.
11. *Baeyens H.* Heritage Interpretation Centres / The Hicira Handbook. Barcelona : SA de Litografia, Diputació de Barcelona, 2005. 66 p.
12. *Еттеревская И. Н.* Особенности социально-пространственной организации креативных пространств современного города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 231—244.
13. *Федосеева А. Ф., Антюфеев А. В.* Формирование археологического парка на территории объекта культурного наследия «Новый Сарай (Сарай-Берке)» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 418—428.
14. *Ptichnikova G. A.* Hybridization in Architecture // Proceedings of the 2019 International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (AHTI 2019). Atlantis Press, 2019. Vol. 471. Pp. 256—259.
15. *Kamariotou V., Kamariotou M., Kitsios F.* Strategic planning for virtual exhibitions and visitors' experience: A multidisciplinary approach for museums in the digital age // Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 2021. Vol. 21. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212054821000126>.
16. *Птичникова Г. А.* Эстетика медиаархитектуры // Художественная культура. 2019. № 1(27). С. 144—161.
17. *Tilden F.* Interpreting Our Heritage. Chapel Hill : The University of North Carolina Press, 2008. 224 p.
18. *Антюфеева О. А.* Архитектурно-градостроительные принципы экспонирования археологических памятников Великого Шелкового пути на территории Нижнего Поволжья : автореф. дисс... канд. архитектуры. М., 2014. 24 с.
19. *Naredi-Rainer von P.* Museum Buildings — A Design Manual. Berlin : Birkhauser — Publishers for Architecture, 2004. 248 p.

20. *Минеева И. М.* Музеефикация как фактор интеграции и социокультурной адаптации археологического наследия // Известия Алтайского государственного университета. 2008. Т. 4. № 5(60). С. 138—141.

21. *Птичникова Г. А., Антюфеева О. А.* Искусство в архитектурном пространстве современного города // Социология города. 2017. № 2. С. 62—74.

© *Дубов И. А., Антюфеева О. А., 2023*

*Поступила в редакцию
в июне 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Дубов И. А., Антюфеева О. А. Археопарк как полифункциональный комплекс // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 186—196.

Об авторах:

Дубов Игорь Александрович — магистрант каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; urbanistika_14@mail.ru

Антюфеева Ольга Алексеевна — канд. архитектуры, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

Igor A. Dubov, Olga A. Antyufeeva

Volgograd State Technical University

ARCHAEO-PARK AS A POLYFUNCTIONAL SYSTEM

The article is devoted to the study of the sociocultural role of archeoparks, as well as to the identification of different approaches to exhibiting and updating archaeological heritage sites. The tourist, ecological and recreational functions of archaeological museums “in the open air” are determined. The popularity of such museum organizations brings to the fore the need to identify key areas, themes, plots and tools of cultural and educational tourism. The regional and ethno-national approaches and their influence on the construction of the exposition are determined. The principles and approaches of urban planning design of the territories of archeoparks using modern digital technologies are considered. The multimedia technologies in the creation of expositions and their possibilities of influencing a person are determined. The authors have identified approaches to the interpretation of the archaeological heritage that allow expanding the functional organization of archeoparks: “living history”, “experimental archeology” and «”deep tourism”.

Key words: archeopark, open-air museum, functional and planning organization of the territory, exposition, interpretation, cultural heritage, archaeological heritage, actualization, deep tourism, living history.

For citation:

Dubov I. A., Antyufeeva O. A. [Archeopark as a polyfunctional system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 186—196.

About authors:

Igor A. Dubov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; urbanistika_14@mail.ru

Olga A. Antyufeeva — Candidate of Architecture, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 725.34

Е. С. Жукова, В. М. Молчанов

Южный федеральный университет

ЭВОЛЮЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ РЕЧНЫХ ВОКЗАЛОВ

Проанализированы функционально-планировочные особенности речных вокзалов и терминалов с учетом градостроительных, функционально-технологических, социально-экономических, экологических и экономических факторов, оказывающих влияние на архитектурно-пространственные решения. Выявлены этапы формирования объектов речной транспортной инфраструктуры. Обозначены особенности функциональной, архитектурной, планировочной и региональной специфики проектирования речных вокзалов.

Ключевые слова: речной вокзал, терминал, архитектура терминалов водного транспорта, эволюция архитектуры речных вокзалов.

Использование речных путей сложилось исторически, испокон веков. Речной транспорт насчитывает не одну тысячу лет. Считается, что первые крупные речные суда стали строить в Древнем Египте еще в IV тыс. до н. э. В XIX в. на внутренних водных путях начали использовать пароходы. Активное развитие речного транспорта в нашей стране велось в XX в., вследствие чего имеется отечественный опыт и ресурсы для возрождения этих путей сообщения. Развитие речного транспорта в настоящее время рассматривается глобально и имеет значительное влияние на жизнь современного человека.

Актуальность развития речного транспорта связана с выгодными экономическими показателями и условиями эксплуатации, а также огромными ресурсами нашей страны [1]. Недавний рост круизного туризма сопровождался развитием новых круизных пассажирских терминалов во многих городах, что способствовало достижению целей в области территориального планирования города и реновации территории [2].

В последние годы наблюдается перегруженность транспортом наземных дорог крупных муниципальных образований. Частичным решением данного вопроса при наличии естественных и искусственных водных путей и соответствующих бизнес-проектов городских властей может быть применение аквабусов — водных маршрутных такси, входящих в состав городского пассажирского общественного транспорта [3]. Это позволит рациональнее разделять виды транспорта и эффективнее использовать ресурсы, улучшить транспортную систему и снизить негативное транспортное воздействие на безопасность окружающей среды и качество жизни [4].

Большинство акваторий имеют спокойный природно-климатический режим, который допускает активное развитие водного туризма, рекреации. На берегах водоемов и рек с исключительной по красоте природой может быть обеспечен отдых высокого уровня [5].

Речной вокзал является возрождающимся общественным зданием, строительство которого востребовано в современном мире.

Цель исследования заключается в определении характерных особенностей и специфики проектирования речных вокзалов.

Отечественный опыт

Выявлены 4 основных исторических этапа формирования подобных объектов:

1. *Возникновение* (1920—1930 гг.): пассажирское здание с минимальным набором необходимых помещений. Наиболее яркие представители периода: пассажирское здание в Архангельске (1930-е гг., рис. 1); пассажирское здание на пристани в Запорожье (1930 г., рис. 2); пассажирское здание в Кременчуге (1931 г., рис. 3).



Рис. 1. Пассажирское здание в Архангельске



Рис. 2. Пассажирское здание на пристани в Запорожье



Рис. 3. Пассажирское здание в Кременчуге

2. *Формирование* (1930—1960 гг.): представительское здание в стиле сталинского ампира, помимо транспортной функции имеет назначение места отдыха трудящихся. В этот период построены речные вокзалы, демонстрирующие основные принципы этапа формирования объекта:

Московский (Южный) речной вокзал (архитектор Р. Я. Хигер, Москва; 1932—1975 гг., разрушен, рис. 4);

Химкинский (Северный) речной вокзал (архитектор А. М. Рухлядев, Москва, 1937 г., реставрирован, рис. 5);

Калининский (Тверской) речной вокзал (архитекторы П. П. Райский, Е. И. Гаврилов, Тверь, 1938—2017 гг., частично разрушен, рис. 6).



Рис. 4. Московский (Южный) речной вокзал



Рис. 5. Химкинский (Северный) речной вокзал



Рис. 6. Калининский (Тверской) речной вокзал

На данном этапе формируются 2 основных направления:

1. Горизонтально протяженный объем. Пример — речной вокзал в Перми (архитекторы Л. В. Милегн, Р. М. Гегард, 1940 г., реставрирован, рис. 7).

2. Башенная композиция. Пример — речной вокзал в Красноярске (архитектор А. Н. Голубев, 1952 г., реставрирован, рис. 8).



Рис. 7. Речной вокзал в Перми



Рис. 8. Речной вокзал в Красноярске

В начале 1960-х гг. начался новый этап развития — поиск новых архитектурных форм, соответствующих индустриальным методам строительства [6].

3. *Трансформация* (1960—2000 гг.): конструктивистское здание с ярко выраженными дополнительными функциями, такими как гостиница, концертный зал и т. п. Наиболее яркими представители нового периода:

речной вокзал в Омске (архитектор Т. П. Садовский, 1964 г., рис. 9);

речной вокзал в Ульяновске (1965 г., рис. 10);

речной вокзал в Ярославле (архитектор Т. П. Садовский, 1-я очередь строительства — 1976 г., 2-я — 1984 г., за архитектуру комплекса речного вокзала в Ярославле авторский коллектив во главе с архитектором Т. П. Садовским удостоен Государственной премии РСФСР, рис. 11);

речной вокзал в Волгограде (1-я очередь строительства — 1980 г., 2-я очередь (концертный зал) — 1989 г., рис. 12).



Рис. 9. Речной вокзал в Омске



Рис. 10. Речной вокзал в Ульяновске



Рис. 11. Речной вокзал в Ярославле



Рис. 12. Речной вокзал в Волгограде

В рамках данного периода рассмотрена эволюция объекта речного пассажирского транспорта в Ростове-на-Дону. На этапе формирования — речной вокзал архитекторов Иннокова, Л. Л. Берберова, 1939—1978 г. (снесен, рис. 13), на этапе трансформации — речной вокзал архитекторов В. Кубасова, Ю. Алексеева, 1977 г., в настоящее время — гостиница, аренда помещений (рис. 14).



Рис. 13. Речной вокзал в Ростове-на-Дону, 1939—1978 г.



Рис. 14. Речной вокзал в Ростове-на-Дону, с 1977 г. по настоящее время

4. *Возрождение* (2000 г. — настоящее время): современное модернистское здание, представляющее собой полифункциональный комплекс, динамичный выразительный объем, создающий символ города. В настоящее время предлагаются новые проекты для строительства и реконструкции таких объектов. Яркими представителями периода возрождения являются:

пассажирский порт «Морской фасад» (архитектор С. Орешкин, архитектурное бюро «А. Лен», Санкт-Петербург, 2011 г., рис. 15);
круизный терминал в Сочи (2014 г., рис. 16).

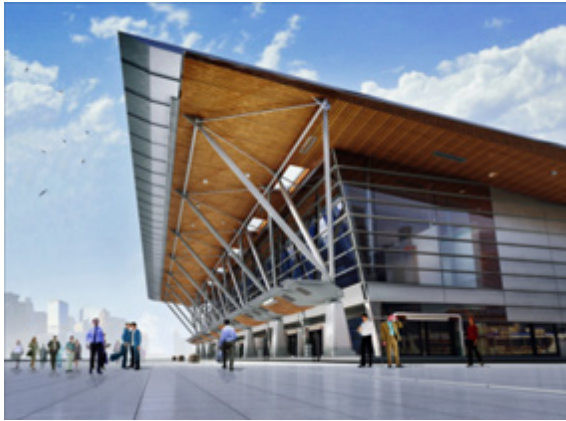


Рис. 15. Пассажирский порт «Морской фасад»



Рис. 16. Круизный терминал в Сочи

Рассмотрена эволюция образа речного вокзала в Самаре на основании анализа следующих объектов:

речной вокзал в Куйбышеве (архитектор Л. А. Волков, 1936—1971 г., снесен, рис. 17);

речной вокзал в Самаре (архитектор Ю. Коган, 1971 г., функционирует как гостиница, рис. 18);

речной вокзал в Самаре (архитектор Д. Орлов, 2015, проект, рис. 19). Интересные образы предлагались в других конкурсных проектах — волна, парус.



Рис. 17. Речной вокзал в Куйбышеве, 1936 г.



Рис. 18. Речной вокзал в Самаре, 1971 г.



Рис. 19. Речной вокзал в Самаре, 2015 г., проект

Зарубежные аналоги

Для анализа взяты объекты пассажирского водного транспорта в разных странах:

морской терминал в Салерно (архитектор Заха Хадид, Италия, 2016 г., рис. 20);

круизный терминал в порту Лейшойнш (архитектурная студия Luís Pedro Silva Arquitecto, Матозиньюш, Португалия, 2015 г., рис. 21);

паромный терминал Värtaterminalen (С. F. Møller, Стокгольм, Швеция, 2016 г., рис. 22);

терминал порта Гаосюна (Reiser+Umemoto RUR, Тайвань, 2013 г., реализация, рис. 23).



Рис. 20. Морской терминал в Салерно



Рис. 21. Паромный терминал в порту Лейшойнш



Рис. 22. Терминал Värtaterminalen



Рис. 23. Терминал порта Гаосюна

Характерные черты объекта

При анализе приведенных объектов определены основные черты, характерные для речного вокзала на протяжении всей эволюции архитектурно-планировочного решения:

1. *Основные параметры* — большая вместимость здания и обширная территория, включающая протяженный причальный фронт для размещения нескольких лайнеров. Зарубежные аналоги имеют повышенный объем здания по сравнению с российскими речными вокзалами.

2. *Особенности размещения* — водный вокзал является транспортным узлом, имеет доступ территории к различным видам транспорта [7]: водному, автомобильному, железнодорожному. Речные вокзалы размещаются преимущественно в центральной части города, линейно вдоль набережной, в современных проектах — зачастую на выступающей или вогнутой части берега, при недостаточной протяженности причальной части строительство осуществляется на насыпной территории. Современный объект в основном является частью порта.

3. *Особенности генплана* — общая планировка территории базируется на функциональных требованиях круизных терминалов, разумном расположении, функциональной планировке водных и наземных ресурсов, определении размеров и взаимного расположения объектов [8]. Перрон является важнейшим элементом вокзала, в него входит участок территории или зона с устройствами и сооружениями, предназначенными для посадки или высадки пассажиров, проведения багажных, а в отдельных случаях — грузовых операций и технического обслуживания судов¹. Территория имеет причал, большую прогулочную зону парка или набережной, привокзальную площадь с остановочными пунктами общественного транспорта, в современных проектах также появляются большие зоны автостоянки². На начальных этапах объект представлен одним зданием, в дальнейшем зачастую — комплексом отдельно стоящих зданий. В зарубежных аналогах основное здание терминала размещается не только вдоль берега, но и перпендикулярно или относится на расстояние в водное пространство.

4. *Функциональность*. На первых этапах формирования объект — транспортное, чисто функциональное здание. Современный вокзал трансформируется в полифункциональный общественный комплекс, в состав которого входит пассажирский терминал и общественное городское пространство [9], привлекающее дополнительно городские потоки. Для лучшего понимания опыта посетителей были проведены исследования мотивов пассажиров круизных судов, их оценки и вероятности повторного посещения, которые показали, что «исследование» и «бегство» — основные мотивы, кроме того, «продукт и услуги» являются значимыми факторами в формировании общего уровня удовлетворенности [10]. Таким образом, порт должен обслуживать судно и предоставлять пассажирам дополнительные виды деятельности и услуги. Во время ожидания пассажирами судна терминал посредством

¹ Пособие по проектированию вокзалов (к СНиП II-85-80) // ЦНИИП градостроительства. М.: Стройиздат, 1987. 58 с.

² МДС 32—1.2000. Рекомендации по проектированию вокзалов // Госстрой России, ЦНИИП градостроительства. М.: ГУП ЦПП, 1998. 63 с.

программ и визуального опыта должен создавать такие условия, чтобы туристы ощущали транспортный процесс как составляющую туристического продукта [11]. Основные функции современного речного вокзала — транспортная, развитая рекреационная, а также общественная: деловая (офисы) или досугово-развлекательная (музеи, социальное пространство для общения и пр.), повышающая рентабельность и эффективность эксплуатации. Зарубежные постройки преследуют двойную цель: улучшение коммерческой эффективности порта, интеграция транспортного узла в городскую среду.

5. *Архитектурный замысел.* На протяжении века стиль отечественных построек меняется от конструктивизма и формализма к сталинскому ампиру, а затем к модернизму (советский, современный). На начальных этапах присутствуют трансляция в объеме образа транспортного сооружения, тяга к симметрии и выделению центрального объема, небольшие открытые пространства (террасы), тяга к высотной композиции (шпиль на малоэтажном здании), акцент входа. На этапе формирования пассажирское здание на причале трансформируется в представительское здание с башенной композицией, развивается рекреационная направленность. На этапе трансформации активно развиваются дополнительные общественные функции. На последнем этапе возвращается упор на функционализм (как на первом этапе), что проявляется в стиле хай-тек, удлинении причальной части 2-го этажа здания. Форма плана тяготеет к прямоугольной. Во внешнем облике отечественных речных вокзалов представлено образное, индивидуальное решение [12], развивается тема связи суши и воды в образах маяка (суша) и лайнера (вода).

Стиль построек зарубежных терминалов — модернизм в различных направлениях: деконструктивизм, зеленая архитектура, урбанизм. Форма плана различная: прямоугольная, овальная, разветвленная. Зачастую объем здания состоит из нескольких элементов (визуально или конструктивно). В объеме здания ярко выражены навигация и региональные особенности в защитных функциях конструкций здания от внешних агрессивных условий (жара, шторм). Тема взаимосвязи суши и воды представлена следующими образами: устрица, белый клубок лент, лайнер, каскад волн.

На всех этапах объекту присущи малоэтажный горизонтально протяженный объем зачастую с вертикальной доминантой и использование рельефа, объем представлен относительно динамичными формами.

6. *Решение фасадов.* В отечественных объектах фасад чаще больше вписан в городскую среду, нежели в водную стихию. Тяготеет к асимметричной композиции на этапах возникновения (1-й этап) и трансформации (3-й этап) и симметричной композиции основного здания на этапах формирования (2-й этап) и возрождения (4-й этап). Зачастую имеется модульный элемент (колонны, арки, распоры, остекление), вход выделяется. В период трансформации появляется крупное название на фасаде. Прослеживается, как сначала идет увеличение декора (сталинский ампир), а затем максимальное ограничение декоративных элементов.

В зарубежных аналогах фасад вписан одновременно в природные условия и городскую среду, проявляется тяга к асимметричной композиции, прослеживается проработка всех фасадов объекта и акцент входа.

7. *Характерные элементы.* В планировочной структуре имеются рекреационные элементы, дающие возможность широкого обзора прилегающего

ландшафта [13]: галереи, лоджии, террасы, переходы, обзорные площадки, балконы, навесы. В главном помещении терминала зачастую проектируются атриум и зенитный фонарь. Развивается использование крыши: эксплуатируемая кровля, дополнительный (пятый) фасад здания.

8. *Планировочное решение.* В нашей стране на начальном этапе здание вмещает только пассажирские помещения с минимальной площадью. Затем на этапе формирования задаются основные планировочные принципы речного вокзала: разработка схем путей передвижения потоков и применение принципа их разделения [14, с. 222—224, 226—228], вертикальное зонирование объекта (разнесение функций по уровням), вестибюль — центральное композиционное ядро планировки. Основные помещения — вестибюль, зал ожидания, комнаты для пассажиров с детьми, ресторан, вспомогательные и служебные помещения — располагаются согласно последовательности совершаемых пассажирами (посетителями) операций с минимизацией возвратных движений и массовых скоплений. Для оптимизации путей движения проводят моделирование очереди пассажиров, операций терминала, расположения навигации и информационных стендов для быстрого ориентирования, уязвимости во время террористической атаки или стихийного бедствия в целях безопасности [15]. Эти аспекты улучшают взаимосвязь процессов и циркуляцию пространств, обращаясь к экономическим, городским и гражданским потребностям [16]. Основные помещения имеют большие площади, повышенную высоту помещений и двухсветные или купольные пространства. Багажный блок размещается в первом или подвальном этажах с отдельными выходами в город и на причал. Ресторан располагается на втором этаже, административные помещения — на верхних этажах. Выходы на причалы располагаются через изолированную часть набережной или второй этаж терминала (галереи). Пригородный вокзал зачастую выделяется в отдельное здание. Современные объекты воспроизводят выделенные планировочные принципы, а также дополняют их возможностью коммерческого использования площади зала ожидания пассажиров в ненавигационный период для проведения выставок, презентаций и конференций. Особенность зарубежных объектов по сравнению с современными российскими аналогами — пригородный вокзал не выделяется в отдельное здание.

9. *Материалы и технологии.* На разных этапах применяются разные строительные материалы: сначала появляются деревянные сооружения, затем происходит переход к кирпичным строениям, а после — к строительству из стекла, металла и бетона. На протяжении эволюции объекта развивается проработка внешнего освещения (световых схем) — от размещения точечного светового устройства на вершине на начальных этапах до современной диодной подсветки фасадов (точечные светильники или светодиодные ленты) и устройства световых панно. В современном строительстве зарубежных терминалов применяются новые технологии строительства, такие как проектирование сложных оболочковых и каркасных конструкций на основе метода компьютерного моделирования и внедрение экологичных технологий строительства. В современных объектах востребованы энергоэффективные технологии, которые включают в себя автономные источники энергии, энергоэффективное остекление, устройство геотермальной системы отопления и охлаждения здания.

10. *Решение интерьеров.* В интерьере проявляется развитие темы судоходства (тематические росписи стен и техно-дизайн) и водной стихии (переливающиеся пространства). В интерьере зарубежных терминалов преобладает белый цвет, иногда размещается крупный декоративный элемент в центре вестибюля. Также отличительной особенностью современных транспортных объектов можно считать ярко выраженную навигацию внутри здания и выделение коммуникаций. Зарубежным аналогам, помимо этого, свойственно устройство пандуса по направлению основного движения.

В эволюции архитектуры речных вокзалов четко прослеживаются отдельные этапы формирования объекта, имеющие характерные черты и особенности. На протяжении всего периода эволюции произошли существенные изменения в проектировании речных вокзалов. Больше внимания стало уделяться расширению функции здания, поиску новых выразительных композиций и образов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Корепанова Н. С., Ившина Л. И.* Популяризация речных вокзалов и насыщение их структуры новыми функциями // Модернизационный вектор развития науки в XXI веке: традиции, новации, преемственность: сб. науч. статей международной науч.-практ. конф. СПб, 2016. С. 9—11.
2. *McCarthy J. P., Romein A.* Cruise Passenger Terminals, Spatial Planning and Regeneration: The Cases of Amsterdam and Rotterdam // *European Planning Studies*. 2012. Vol. 20. Iss. 12. Pp. 2033—2052.
3. *Пумбрасова Н. В., Дубова Е. О.* Маломерный речной транспорт в городских пассажирских перевозках как перспективное направление решения проблем городского общественного транспорта // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. 2013. № 35. С. 299—303.
4. *Kapros S., Rouboutsos A., Morfoulaki M., Papanikolaou A.* Promotion of passenger intermodality and users' requirements for service performance at terminals and passengers' interchange poles // *European Transport Conference*. 2011. URL: https://scholar.google.gr/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=IFsKy_sAAAAJ&start=20&pagesize=80&citation_for_view=IFsKy_sAAAAJ:0EnyYjriUFMC.
5. *Шахова М. Е.* Объекты водной рекреации, туризма и спорта в прибрежных зонах городов // *Интернет-вестник ВолгГАСУ*. 2013. № 1(25). С. 6.
6. *Чернова О. В., Летавина М. А.* Эволюция архитектуры российских речных вокзалов 1930—1970 гг. // 19-й международный науч.-пром. форума «Великие реки 2017». 2017. Т. 3. С. 286—287.
7. *Ионов Б. В.* Архитектура речных вокзалов и павильонов. М. : Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1951. С. 105.
8. *Cheng Z., Gong L., Li C.* General Layout of Cruise Terminals // *Design and Practice of Cruise Ports*. Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping. Vol. 4. Singapore, Springer, 2020.
9. *Al Abhamy A.* Marine terminal. // Dissertation Submitted to the Department of Architectural Engineering at Ajman University of Science and Technology. 2015. URL: https://issuu.com/asmaala36amy/docs/marina_terminal_thesis.
10. *Andriotis K., Agiomirgianakis G.* Cruise visitors' experience in a Mediterranean port of call // *International Journal of Tourism Research*. 2010. Vol. 12. Iss. 4. Pp. 390—404.
11. *Jugović A., Mezak V., Nikolić G.* Organization of Maritime Passenger Ports // *Pomorski zbornik*. 2006. No. 44. Pp. 93—104.
12. *Мельников Е.* Владимир Кубасов // *Архитектура СССР*. 1972. № 2. С. 40—49.
13. *Хигер Р. Я.* Архитектура речных вокзалов. М. : Изд-во Академии Архитектуры СССР, 1940. 55 с.
14. *Гельфонд А. Л.* Архитектурное проектирование общественных зданий : учебник. М. : НИЦ Инфра-М, 2016. 280 с.

15. Krile S., Maiorov N., Fetisov V. Forecasting the operational activities of the sea passenger terminal using intelligent technologies // *Transport problems*. 2018. Vol. 13. Iss. 1. Pp. 27—36.

16. Melville A. The gateway to the south // Submitted to the Victoria University of Wellington. 2015. URI: <http://researcharchive.vuw.ac.nz/handle/10063/6119>.

© Жукова Е. С., Молчанов В. М., 2023

*Поступила в редакцию
в июне 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Жукова Е. С., Молчанов В. М. Эволюция архитектуры речных вокзалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 197—210.

Об авторах:

Жукова Елизавета Сергеевна — аспирант, Южный федеральный университет (ЮФУ). Российская Федерация, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр-т Буденновский, 39

Молчанов Виктор Михайлович — канд. архитектуры, проф., зав. каф. архитектуры и искусств, Южный федеральный университет (ЮФУ). Российская Федерация, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр-т Буденновский, 39; vimolvhanov@yandex.ru

Elizaveta S. Zhukova, Victor M. Molchanov

Southern Federal University

EVOLUTION OF RIVER STATION ARCHITECTURE

The article describes the relevance, goals, objectives, theoretical basis, theoretical and practical significance and research methodology. In the course of the study, the functional and planning features of river stations and terminals were analyzed taking into account urban planning, functional and technological, socio-economic, environmental and economic factors that influence the architectural and spatial solutions of water terminals. The stages of formation of the object of the river transport infrastructure are revealed. The features of the functional, architectural, planning and regional specifics of designing river stations are indicated.

Key words: river station, terminal, architecture of water transport terminals, evolution of architecture of river stations.

For citation:

Zhukova E. S., Molchanov V. M. [Evolution of river station architecture]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 197—210.

About authors:

Elizaveta S. Zhukova — Postgraduate student, Southern Federal University. 39, Budennovsky Ave., Rostov on Don, 344082, Russian Federation; elizaveta_zhukova@mail.ru

Victor M. Molchanov — Candidate of Architecture, Professor, Southern Federal University. 39, Budennovsky Ave., Rostov on Don, 344082, Russian Federation; vimolvhanov@yandex.ru

УДК 69.035.4

Н. В. Коростелева, Э. Р. Ганиев, Р. К. Насиров

Волгоградский государственный технический университет

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В связи с интенсивным увеличением численности населения в городах назрела проблема освоения подземного пространства. Рассмотрены преимущества и недостатки подземного строительства. На основе сравнительного анализа мирового опыта показано отставание российских городов в развитии подземной урбанистики. Выявлены основные причины, сдерживающие развитие подземного строительства в России. Даны рекомендации по исправлению ситуации.

Ключевые слова: подземное строительство, объекты подземного строительства, подземное пространство, подземные коммуникации.

На сегодняшний день в городах проживают около 4 млрд человек, ожидается, что к 2050 г. это число достигнет 7 млрд [1]. Значительное увеличение численности городского населения требует дополнительных площадей для размещения новых зданий, сооружений и транспортных коммуникаций, т. е. всего того, что необходимо человеку для комфортного проживания. Но в определенный момент территориальный рост городов становится экономически невыгодным из-за удорожания транспортных расходов и инженерного оборудования. Встает вопрос изменения направления развития городов с переходом от горизонтального к вертикальному расширению. Это можно наблюдать по увеличившейся высотности зданий в крупнейших городах мира.

Сформированный опыт городского планирования и строительства показал, что решение проблем города, начиная с социальных, экологических и экономических и заканчивая градостроительными и архитектурными, требует не только грамотного использования наземного пространства города, но и планомерного и комплексного освоения подземного ресурса [2—4].

Освоение подземного пространства в большей степени применяется обычно для следующих городских территорий: центральных районов города и территорий с тесной застройкой, стратегически важных транспортных узлов, территорий крупных промышленных и коммунальных объектов, районов с исторической застройкой, где действует запрет на увеличение этажности зданий.

При этом стратегия использования подземного пространства для каждого города формируется индивидуально и зависит от ряда факторов: величины города и плотности застройки, значения уровня автомобилизации отдельных районов, характера геологических условий и иных ограничений для подземного строительства.

Исходя из этого в генеральном плане города необходимо выделять территории, перспективные для освоения подземного пространства, а также регулировать порядок их использования.

На сегодняшний день освоение подземного пространства городов затруднено по ряду причин [5]. К одним из основных можно отнести:

- необходимость обеспечения сохранности существующей застройки и проведения тщательной оценки ее деформации и устойчивости при подземном строительстве;
- сложность разработки проектных решений, следовательно, высокая стоимость строительства и проектно-изыскательских работ;
- необходимость сохранения существующей геоэкологической среды.

Помимо этого возникают технические проблемы при создании пустого рабочего пространства под землей. При подземном строительстве образуется достаточно сильное горизонтальное давление грунта, что требует высокой прочности стенок возводимых сооружений. Немалую проблему создает уровень подземных вод, который имеет свойство изменяться, что требует проведения дополнительного геотехнического мониторинга для принятия решений о внедрении подземных объектов и необходимых для этого технологиях.

Но несмотря на то, что строительство подземных сооружений в среднем на треть дороже по сравнению с наземными объектами, многие развитые страны мира прибегают к всестороннему освоению подземных пространств городов. Комплексное освоение подземного пространства дает достаточно много стратегических преимуществ и считается весьма эффективным. Использование пространства ниже уровня поверхности земли позволяет, во-первых, скрыть нежелательные объекты, разгрузить тесную застройку и создать приятную архитектурную среду. Во-вторых, подземные объекты потребляют меньше энергетических ресурсов и обходятся дешевле в содержании. Кроме того, они меньше влияют на качество окружающей среды в сравнении с наземными объектами [3].

Мировой опыт градостроительства показывает, что на современном этапе стратегия решения сложных социально-экономических и градостроительных проблем реализуется путем формирования пространственной структуры города, представляющей собой многоуровневую и многофункциональную структуру с максимальным вертикальным развитием за счет комбинированного использования подземного пространства в едином градостроительном плане, интегрированном в общий план развития города. Можно сказать, что это создание вертикально развитого, многоуровневого и многофункционального города с максимально возможной формой.

В качестве лидеров в подземной урбанистике можно выделить Канаду, Японию и Финляндию.

На территории Канады располагается значительное количество подземных сооружений различного назначения: транспортная и инженерная инфраструктура, объекты административно-делового, общественного и культурного назначения и т. п. Например, в Монреале такие сооружения занимают порядка 12 млн м², в Торонто — более 6 млн м² городского подземного пространства. В центральной части Торонто располагается подземный город РАТН (рис. 1). Помимо этого практически вся высотная застройка центра города имеет подземную часть, состоящую из нескольких этажей, на которых размещены офисы, магазины, рестораны, парковки. Для удобства использования все они соединены между собой подземными переходами и линиями метро (рис. 2).

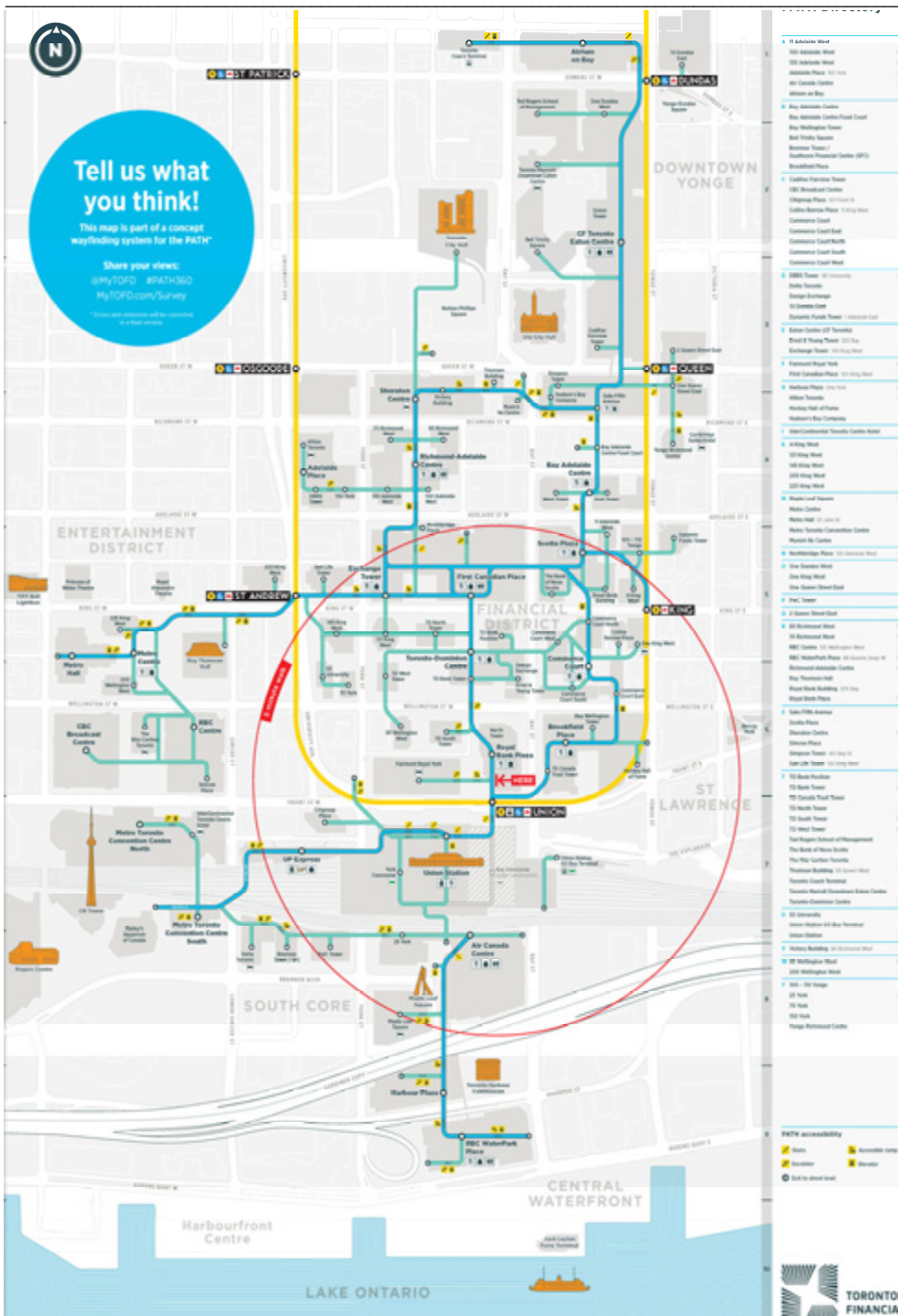


Рис. 1. Схема подземного города PATH, Торонто

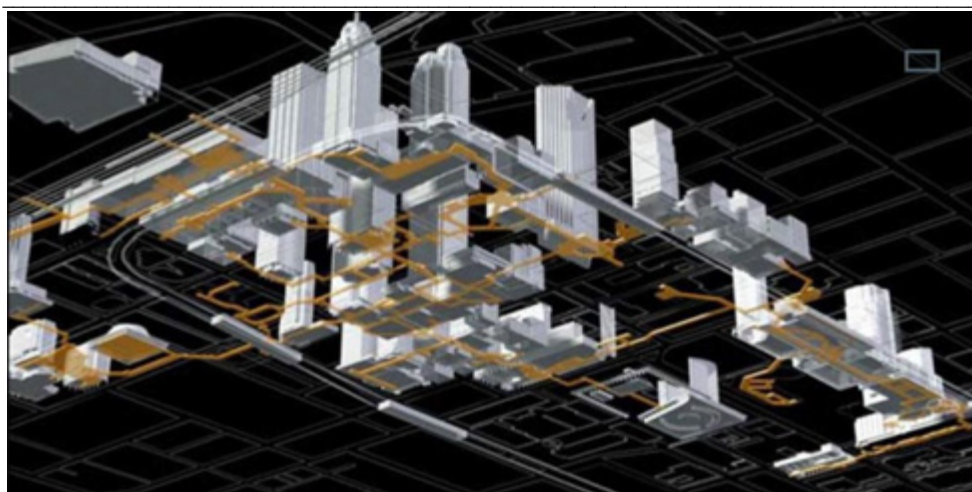


Рис. 2. Система подземных туннелей и переходов в центре Торонто, Канада

Что касается Японии, то практически в центре любого большого японского города располагаются достаточно развитые подземные районы. Некоторые из них представляют собой оживленные торговые объекты, другие — многолюдные пешеходные переходы, удобно соединяющие железнодорожные станции с близлежащими зданиями. Такие подземные улицы созданы для рационального использования драгоценной земной поверхности [6—8].

Одно из первых мест в Восточной Азии по освоению подземного пространства принадлежит г. Осака. Его подземная часть — достаточно обширная сеть, включающая торговые центры, благоустроенные зоны отдыха и пешеходные переходы (рис. 3).



Рис. 3. Схема расположения подземных объектов в г. Осаке, Япония

В Финляндии наиболее ярким примером грамотного использования подземного пространства является г. Хельсинки (рис. 4). В нем располагается более 400 подземных сооружений и 300 км туннелей различного назначения. Сейчас на каждые 100 м² территории города приходится 1 м² освоенного подземного пространства [9].

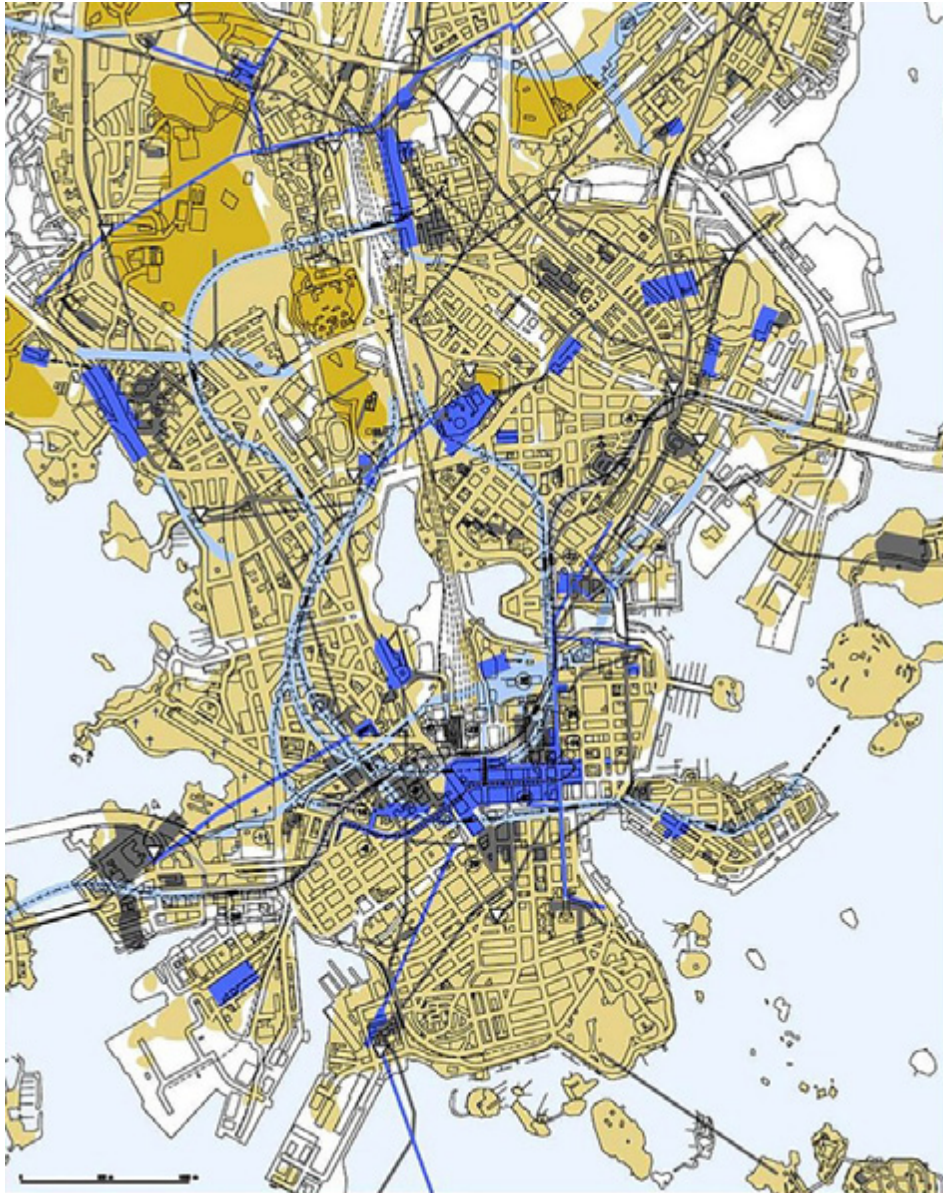


Рис. 4. Фрагмент генплана Хельсинки с использованием подземного пространства 2014 г. [10, 11]. Цветами выделены следующие территории: светло-голубой — пространства, предусмотренные для прокладки новых туннелей; синий — территории с перспективным освоением подземного пространства; серый — существующие подземные объекты и различные туннели; горчичный — перспективные участки подземного освоения без определенного функционального назначения

В России городами, достаточно интенсивно осваивающими свой подземный ресурс, являются Москва и Санкт-Петербург. Но их подземное развитие имеет ярко выраженную транспортно-инженерную направленность, в то время как строительство объектов социальной, культурной и другой инфраструктуры носит фрагментарный характер [12].

Анализ зарубежного опыта использования подземного пространства мегаполисов позволяет говорить, что для обеспечения их устойчивого развития и создания условий комфортного проживания населения необходимо, чтобы доля подземных сооружений в общем объеме вводимых площадей составляла 20...25 %.

Что касается отечественного подземного строительства, то в настоящее время этот показатель даже для Москвы составляет всего 8 %, причем отношение площади подземной части сооружения к его общей площади в черте города варьируется от 4,0 до 87,5 %. В центре этот показатель в среднем составляет порядка 30 %, а на периферии не превышает 2 %. Можно отметить, что в центральной части города преобладают многопрофильные подземные комплексы, а на периферии — перевес у монофункциональных сооружений, таких как парковки, технические помещения и т. п. [13].

Отличительной особенностью освоения подземного пространства Москвы от зарубежных городов является то, что подземные объекты чаще всего не связаны между собой (рис. 5).



Рис. 5. Схема сложившегося использования подземного пространства центральной части Москвы [14]

По своему назначению все подземные сооружения в черте города распределяются следующим образом: максимальное распространение получили автомобильные парковки и технические помещения, далее идут объекты хранения, предприятия торговли и общественного питания, замыкают перечень объекты зрелищных, социально-бытовых и административных учреждений [14].

В России пока не существует условий для масштабного и действительно комплексного подземного строительства. Мало необходимой нормативной базы, устарела система планировочных нормативов, не хватает информации о существующих подземных сооружениях и, самое главное, полностью игнорируется роль подземных городов в современной градостроительной политике.

Еще в 1970-х гг. был разработан проект планировочной организации и использования подземного пространства Ленинграда (рис. 6). Данный проект предусматривал строительство транспортных тоннелей на магистралях непрерывного движения и железнодорожного тоннеля глубокого заложения под центральной частью города вдоль Московской и Финляндской линий.



Рис. 6. Проект планировочной организации и использования подземного пространства Ленинграда [15]

Кроме этого, предполагалось развивать подземное и полуподземное строительство разноуровневых гаражей-стоянок в местах сосредоточения объектов обслуживания и в пересадочных узлах, под площадями и парками. Крупные подземные парковки должны были располагаться в трех частях: на конечных станциях

метро при въезде в город, на границе центральной части города и вокруг исторического центра. Проектом предполагалось, что общая площадь подземных сооружений под Ленинградом составит около 70 км² [15].

К сожалению, данный проект не был реализован из-за политических и экономических изменений в жизни страны. Более того, ни в одном градостроительном документе последних лет даже не были учтены положения вышеупомянутого проекта.

Сегодня в большинстве российских городов при освоении подземного пространства преобладает правило «преимущество первого пришедшего», т. е. тот, кто «первый пришел», выбирает для своего объекта самые удобные территории (по геологическим условиям, по расположению в структуре города и т. п.) без учета перспективного развития всего района освоения и его потребностей. Из-за этого в освоении подземном пространстве городов отсутствует четкая систематизация и структура, что приводит к серьезным проблемам дальнейшего их комплексного гармоничного развития.

В большинстве российских городов при подземной застройке решения о распределении ресурсов — пространства, материалов, воды и энергии — принимаются индивидуально для каждого ресурса, поскольку они распределены между различными департаментами. Более того, во многих городах почти нет взаимосвязи между различными пользователями непосредственно подземного пространства.

В качестве примера ошибочности такого подхода можно привести подземное освоение Шанхая (Китай), где в начале 1990-х гг., когда еще не были предусмотрены общие правила подземного строительства, при строительстве метро возникла необходимость в корректировке оптимального маршрута ветки из-за того, что на данной траектории уже было возведено здание с глубиной фундаментов ниже на 16 м, чем предполагалось. После этого в Шанхае и Пекине срочно были разработаны правила для координации использования подземного пространства и предотвращения пространственных конфликтов [16].

В качестве еще одной проблемы успешного развития подземной урбанистики в России можно обозначить отсутствие четкой стратегии по комплексному освоению данного георесурса городов, грамотного регулирования при учете прав собственности на подземные объекты и единого управления всеми этапами освоения подземного пространства.

Таким образом, проанализировав передовой опыт других государств в освоении подземного пространства городов, можно утверждать, что для успешного развития подземной урбанистики у нас в стране необходимо развивать комплексный системный подход, предусматривающий проектирование не отдельных изолированных подземных сооружений, а взаимоувязанных многоуровневых градостроительных систем, грамотно вписанных в архитектурно-планировочное пространство городов. Данный подход позволит рационально использовать территориальные ресурсы городов, спустив под землю все вспомогательные объекты и освободив пространство для объектов рекреации, что благоприятно скажется на экологической ситуации городской среды и повысит качество жизни горожан [17, 18].

Необходимо задуматься о создании специального органа, координирующего всю деятельность, связанную с комплексным освоением подземных пространств РФ. Его деятельность должна быть основана на совместной

работе лиц, занятых градостроительным управлением и планированием: представителей органов государственной власти и местного самоуправления, юристов, строителей, инженеров, проектировщиков и архитекторов. Их скоординированная работа позволит принимать оптимальные решения для устойчивого и гармоничного развития городской среды.

Для эффективности такой работы в городах необходимо создать доступную для заинтересованных лиц, постоянно обновляющуюся геоинформационную систему, в которой будет объединена вся имеющаяся информация о геологическом и гидрологическом состоянии подземного пространства, градостроительных и природных особенностях отдельных территорий, возможностях и ограничениях их подземного развития, а также официальные рекомендации с учетом современных методов освоения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербакова Е. М. Прогноз городского и сельского населения мира, 2018 // Демоскоп Weekly. 2018. № 775—776. URL: <http://demoscope.ru/weekly/2018/0775/barom01.php>.
2. Денисова Ю. В., Коренькова Г. В. К вопросу необходимости освоения подземного пространства городов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. № 11. С. 99—103.
3. Международный форум «Комплексное освоение подземного пространства мегаполисов — как одно из важнейших направлений государственного управления развитием территорий». 2012. URL: <http://undergroundcity-forum.com>.
4. Иванова Н. В., Ганжа О. А. Градо-экологический потенциал формирования подземной архитектуры города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 472—485.
5. Чердниченко Т. Ф., Чеснокова О. Г., Сулейманов Д. Р., Журбенко М. Д. Способы устройства подземных систем зданий в условиях существующей городской застройки: проблемы организации строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 154—162.
6. Miyagawa A. The Current Aspects and Future Trend of Geo-Space Utilization // Journal of The Society of Instrument and Control Engineers. 1994. Vol. 33. Iss. 12. Pp. 995—1002.
7. Toda K., Kuriyama K., Oyagi R., Inoue K. Inundation analysis of complicated underground space // Proceedings of Hydraulic Engineering. 2003. Vol. 47. Pp. 877—882.
8. Imaizumi A., Ito Y., Shimizu N. Perceptual Maps for shape and color design of underground space // Journal of Japan Society of Civil Engineers. Ser. F2. 2016. Vol. 72. Iss. 1. Pp. 1—12.
9. Vähäaho I., Korpi J., Anttikoski U. Use of Underground Space and Geo-Information in Helsinki // World Tunnel Congress and 13th ITA Assembly. 2004. URL: http://www.researchgate.net/publication/267786885_Use_of_Underground_Space_and_Geo-Information_in_Helsinki.
10. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014. No. 6. Pp. 387—398.
11. Vähäaho I. Urban underground space. Helsinki, Real Estate. Department, Geotechnical Division, 2014. 48 p.
12. Корчак А. В. Проблемы, направления и пути решения задач освоения подземного пространства мегаполисов // ГИАБ. 2014. № 5. С. 89—98.
13. Освоение подземного пространства Москвы на современном этапе: тенденции, проблемы, перспективы / А. Н. Левченко, В. Е. Меркин, М. Г. Зерцалов, Д. С. Конюхов, Л. В. Маковский // Труды международной науч.-техн. конф. «Основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных мегаполисов». 2010. М. : РИЦ Тоннельной ассоциации России, 2011.
14. Теличенко В. И., Зерцалов М. Г., Конюхов Д. С. Состояние и перспективы освоения подземного пространства г. Москвы // Вестник МГСУ. 2010. № 4-4. С. 24—36.
15. Панферов А. А., Ледяев А. П. Генеральная схема использования подземного пространства Ленинграда. СПб, 2018. URL: <https://undergroundexpert.info/issledovaniya-i-tehnologii/nauchnye-stati/planirovaniye-razvitiya-podzemnogo-prostranstva-spb>.
16. Картозия Б. А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции // ГИАБ. 2015. № S1. С. 615—630.

17. Korosteleva M. V., Korosteleva N. V. Planning territory as control element city development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. 7 p. DOI: 10.1088/1757-899X/687/5/055017.

18. Ojima T. Underground Space Changes the City // Journal of The Society of Instrument and Control Engineers. 1994. Vol. 33. Iss. 12. Pp. 989—994.

© Коростелева Н. В., Ганиев Э. Р., Насиров Р. К., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Коростелева Н. В., Ганиев Э. Р., Насиров Р. К. Градостроительные перспективы освоения подземного пространства урбанизированных территорий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 211—220.

Об авторах:

Коростелева Наталия Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. городского строительства, экономики и управления проектами, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; korostelevanv@mail.ru

Ганиев Эдуард Рустамович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; eduardganicha01@mail.ru

Насиров Рамин Казанферович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; ramin_7772000@mail.ru

Nataliya V. Korosteleva, Eduard R. Ganiev, Ramin K. Nasirov

Volgograd State Technical University

URBAN PLANNING PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACE IN URBANIZED AREAS

Currently, due to the intensive increase in the population in cities, the problem of developing their underground space is ripe. The article considers the advantages and disadvantages of underground construction. Based on a comparative analysis of world experience, the lag of Russian cities in the development of underground urban studies is shown. The main reasons that restrain the development of underground construction in Russia have been identified. Recommendations for correcting the situation are given.

Key words: underground construction, underground construction facilities, underground space, underground utilities.

For citation:

Korosteleva N. V., Ganiev E. R., Nasirov R. K. [Urban planning prospects for the development of underground space in urbanized areas]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 211—220.

About authors:

Nataliya V. Korosteleva — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; korostelevanv@mail.ru

Eduard R. Ganiev — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; eduardganicha01@mail.ru

Ramin K. Nasirov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ramin_7772000@mail.ru

УДК 725.4(470.45)

Г. А. Птичникова, О. А. Антюфеева

Волгоградский государственный технический университет

К ПРОБЛЕМЕ РЕНОВАЦИИ ИНДУСТРИАЛЬНОГО НАСЛЕДИЯ: КОМПЛЕКС ЗДАНИЙ ЖИГУЛЕВСКИХ ПИВНЫХ СКЛАДОВ В ЦАРИЦЫНЕ

Статья посвящена истории создания и реновации комплекса Жигулевских пивных складов в Царицыне, памятника промышленной архитектуры юга России конца XIX в. Цель статьи — раскрытие региональных особенностей промышленной архитектуры Жигулевских пивных складов, расположенных в Царицыне и в других поволжских городах (Самаре, Камышине, Казани, Астрахани), которые принадлежали «Товариществу Жигулевского пивоваренного завода А. Вакано и К^о». Показан процесс успешной реновации памятника архитектуры и его приспособления под общественные функции. Рассмотрены архитектурные решения проекта реновации, возможности использования приемов лофт-стилистики для контрастного сопоставления «старого» и «нового» в преобразованном общественном объекте.

Ключевые слова: памятники промышленной архитектуры, реновация, адаптация, архитектура Царицына, Жигулевские пивные склады.

Введение

Сохранение и преобразование индустриального наследия представляет собой комплексную проблему, актуальную для современных городов. Актуальность проблемы обуславливается, с одной стороны, необходимостью социально-функциональной адаптации индустриального наследия, его использования под современные потребности общества, с другой стороны, — расширением типологии общественных зданий с учетом регенерации историко-промышленной среды.

Материалы и методы

Проблемам, связанным с сохранением и реставрацией объектов промышленной архитектуры, посвящены труды многих отечественных специалистов, в их числе упомянем такие имена, как Е. В. Алексеева [1], Е. В. Демидова [2], В. В. Запарий [3], А. Е. Курлаев [4], М. С. Штиглиц [5].

Поиску приемов интеграции индустриальной застройки в структуру современных городов, функциональным аспектам адаптации зданий посвящены работы Д. Д. Поповой [6], А. В. Снитко [7], Т. Г. Тереховой [8], Л. П. Холодовой [9], Д. С. Чайко [10] и др.

Из зарубежных специалистов можно отметить труды Н. Коссона [11], А. Отгара [12], Ю. Северкана [13], А. Барласа [13].

Вопросы архитектуры Царицына, в т. ч. индустриального наследия, исследуются в работах А. В. Антюфеева [14], П. П. Олейникова [15], Е. П. Жоровой [16], В. В. Серебряной [17]. Вместе с тем отдельные вопросы требуют более детального изучения, в частности особый интерес вызывают успешные практики реновации объектов промышленной архитектуры, а именно пивоваренных заводов, наследие которых сохранилось во многих российских городах. Как пишет В. В. Серебряная, «история архитектуры промышленных предприятий дореволюционного периода в Волгоградской области практически не исследована» [17, с. 279], а информацию об объектах пищевой

промышленности приходится собирать по крупицам. Некоторые сведения приводятся в работах, посвященных фабрично-заводской статистике Российской империи, например в «Альманахе русских пивоваров» под редакцией Я. Ф. Дворковского, Ф. Г. Нетча [18]. В рамках настоящей работы интерес представляют работы Т. Ф. Алексушиной, посвященные наследию пивоваренного завода А. фон Вакано в Самаре [19].

Целью статьи является раскрытие региональных особенностей архитектуры Жигулевских пивных складов, расположенных в Царицыне, а также в ряде других поволжских городов (Самаре, Камышине, Казани, Астрахани и др.), которые принадлежали «империи» «Товарищества Жигулевского пивоваренного завода А. Вакано и К^о». Одной из главных задач исследования стало представление процесса успешной реновации памятника архитектуры и его адаптации под потребности современного использования. Методы исследования включают натурное обследование, анализ научной литературы и графических источников.

Постановка проблемы

Преобразование городской среды, заключающееся в реконструкции и модернизации ветшающих, брошенных, пустующих пост-индустриальных построек и кварталов, при котором изменяются в лучшую сторону как архитектурный облик города, так и социальный состав населения, становится одной из характерных черт современности вопреки всем экономическим кризисам. Восстановление деиндустриализованных зон и деградированных территорий, т. е. процесс повторного развития сложных объектов, является значимым фактором городского возрождения.

Если несколько лет назад в России можно было упомянуть при изучении процессов джентрификации только столичные примеры (проекты «Винзавод», «Красный Октябрь», «Арма» — в Москве, «Этажи», «Красный треугольник» — в Петербурге), то в региональных центрах о таком опыте долгое время не было и речи. В качестве одного из немногочисленных примеров можно назвать реконструкцию Арсенала (оружейного склада) в кремле Нижнего Новгорода при переоборудовании его под Приволжский филиал музея современного искусства (ЦМСИ).

В конце 2015 г. в Волгограде появился новый объект, который вполне можно назвать первой ласточкой джентрификации в нашем городе. Кардинальные изменения произошли со зданием царицынского периода, известным, главным образом, только специалистам, историкам и краеведам. Это одноэтажное здание с большим подвалом производственного назначения — склады и контора Жигулевского пивного завода, выполненное в стиле «кирпичной архитектуры» (одно из направлений эклектики) и относящееся к концу XIX в. Расположено оно в центре Волгограда внутри квартала между Сурскими банями и жилым домом послевоенной застройки (архитектор В. Е. Масляев). Внутри этого квартала заглядывали только любители царицынской старины, выглядел складской корпус крайне неприглядно, постепенно ветшая и дожидаясь своего сноса.

За короткий срок (2013—2015 гг.) заброшенный объект совершенно преобразился. Благодаря команде специалистов бывший склад после реставрации можно назвать одним из самых притягательных мест в городе.

Индустриальное прошлое Царицына вдруг приобрело романтический флер и раскрыло свою неожиданную эстетическую привлекательность.

История комплекса Жигулевских пивных складов в Царицыне

Здание объекта культурного наследия построено в 1890 г. в комплексе Жигулевских пивных складов в Царицыне на улице Сурской (сейчас — ул. 10-й дивизии НКВД) (рис. 1). Автор проекта и строитель неизвестны [16, с. 127].



Рис. 1. Жигулевские пивные склады в Царицыне. Снимок сделан с каланчи первой пожарной части Царицына

До 1919 г. комплекс принадлежал «Товариществу Жигулевского пивоваренного завода А. Вакано и К^о». В здании, которое является объектом нашего исследования, размещалась контора царицынского склада жигулевского пива, одного из складов товарищества, находившихся в десятках городов Российской империи и даже за рубежом — в г. Энзели (Персия).

Анализируя памятники промышленной архитектуры, которые остались в наследие от этого товарищества, нельзя не затронуть историю самого предприятия. Жигулевский пивоваренный завод возник в 1880 г., когда австрийский дворянин, купец 1-й гильдии, пивовар А. фон Вакано получил в аренду земли для строительства нового передового пивоваренного завода в Самаре [19]. Успешная деятельность предприятия позволила значительно его расширить, и первоначально названное товарищество Жигулевского пивоваренного завода в 1900 г. преобразовалось в торговый дом на вере под фирмой «Товарищество Жигулевского завода А. Вакано и К^о». Недвижимое имущество этого торгового дома располагалось не только в Самаре, но и в других поволжских городах (рис. 2, а, в, г), а также в Баку (рис. 2, б) и на Урале. В комплексы предприятий входили постройки, предназначенные для складирования пива, для пивных, портерных и других служб. К 1914 г. предприятие

имело оптовые склады в 59 городах России, в т. ч., расположенных на Кавказе, в Закаспийском крае и в Сибири [19]. Главная контора «Товарищества» и пивоваренный завод находились в Самаре. Большая часть пивоваренной продукции перевозилась по Волге, для чего Жигулевский завод имел собственную пристань, а также баржи и буксирные теплоходы.

В Самаре сохранился целый комплекс памятников архитектуры, относящихся к наследию «Товарищества фон Вакано» (см. рис. 2). Прежде всего это пивзавод, который является выдающимся произведением промышленной архитектуры, а также особняк и кухмистерская.



Рис. 2. Здания, принадлежавшие «Товариществу Жигулевского завода»: а — в Самаре; б — в Баку; в — в Казани; з — в Бузулуке

Вернемся к комплексу складов в Царицыне. Жигулевский склад существовал в обстановке жесткой конкуренции, производителей и продавцов пива в Царицыне было много. Например, в 1883 г. в Царицыне насчитывалось 5 пивзаводов и 16 винных складов. В числе наиболее крупных можно выделить три: пивзавод № 1 — Таппера, пивзавод № 2 — Клейнау и пивзавод № 3 —

Рексера. Кроме заводов в Царицыне были расположены склады иногородних пивоваренных предприятий: «Калинкинского товарищества» на Царевской улице в доме Вормса, «Кронберга К. К.» в доме Коссаковского на углу Успенской и Астраханской улиц, «Шаболовского пивомедоваренного завода Придворных поставщиков Карнеева, Горшакова и К° в Москве».

Комплекс зданий пивных складов жигулевского пива из 11 зданий располагался на участке, занимающем целый квартал, ограниченный улицами Сурской (им. 10-й Дивизии НКВД), Успенской (им. Ленина), Бельской (Коммунистическая) и Ленской (Краснознаменная) (рис. 3). В настоящее время от всего комплекса сохранилось единственное здание, в котором располагались контора (на 1-м этаже) и «Ледник» (в цоколе).



Рис. 3. Квартал Царицына, который занимали Жигулевские пивные склады. На переднем плане — здание конторы

После революции весь квартал комплекса царицынских складов жигулевского пива был реконструирован. Сталинград преобразался, складские территории заменялись жилыми кварталами. Часть построек пивных складов была демонтирована, на их месте были возведены котельная для новых жилых домов в центре Сталинграда и баня, которая получила название по названию улицы («Сурская баня»). К концу 1935 г. для жителей близлежащих домов открылся новый объект, где также можно было воспользоваться услугами домовой прачечной, размещенной в подвале. Сначала бани носили название «Бани № 1», но в народе закрепилось название Сурские бани (по названию речки Суры, которая когда-то протекала в районе современного цирка).

С началом Великой Отечественной войны в подвалах здания бывшей конторы пивзавода во время массированных бомбардировок города в 1942 г. прятались жители Сталинграда. В годы войны, до и после Сталинградской битвы в здании размещался Сталинградский Спецторг — продовольственно-вещевой склад НКВД.

Здание сильно пострадало в дни Сталинградской битвы, были пробиты внешние стены, утрачена кровля. В 1943 г. полуразрушенное здание конторы склада передали вновь организованному тресту «Сталинградсантехстрой». После войны трест начал работы по восстановлению первого этажа под административный корпус, а цокольного этажа — под мастерские. Проект реконструкции выполнен архитектором проектной конторы «ГлавСталинградстрой» А. П. Кочетковым. В 1947 г. здание полностью восстановлено [19, С.127].

В ходе восстановления внутреннее пространство здания было перепланировано, примерно 20 % здания демонтировано из-за сильного разрушения. Здание в своем первоначальном виде было длиннее, чем в настоящее время, и доходило торцом непосредственно до Сурской улицы. На месте, освобожденном частью здания, построили дом, вплотную примкнувший к бывшему пивному складу. Из-за строительства вокруг памятника царицынской архитектуры жилых домов характер места кардинально изменился, здание оказалось внутри жилого двора.

В 1990—2000 гг. в здании располагалось сразу несколько организаций: охранный предприниматель, стоматология, рекламная фирма и др. (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид здания в 1987, 2014 и 2016 г.

Архитектурные особенности памятника индустриального наследия

Здание конторы царицынского склада представляет собой одноэтажный объем, в плане прямоугольный, выполненный из глиняного кирпича в так называемом «кирпичном стиле». Это направление занимало лидирующее положение в архитектурной практике России в последней четверти XIX в. и выражалось в стремлении выявить натуральный вид стенового материала, уйти от крупных деталей в декоре к мелкой, почти фактурной обработке поверхности, где значительную роль играет модуль кирпича. Колористическая выразительность достигалась цветовыми возможностями строительного материала.

Здание имеет 3 входа, над одним из которых сохранился аттик из красного кирпича, что подтверждает фото начала XX в. Наружные стены выполнены из рядового керамического полнотелого кирпича с расшивкой швов. Толщина наружных стен составляет 510...640 мм.

Главный фасад включает 23 оконных проема с лучковым завершением, которые декорированы наличниками и сплошной горизонтальной тягой среднего выноса (рис. 5). Форма наличников напоминает образцы архитектуры XVII в.

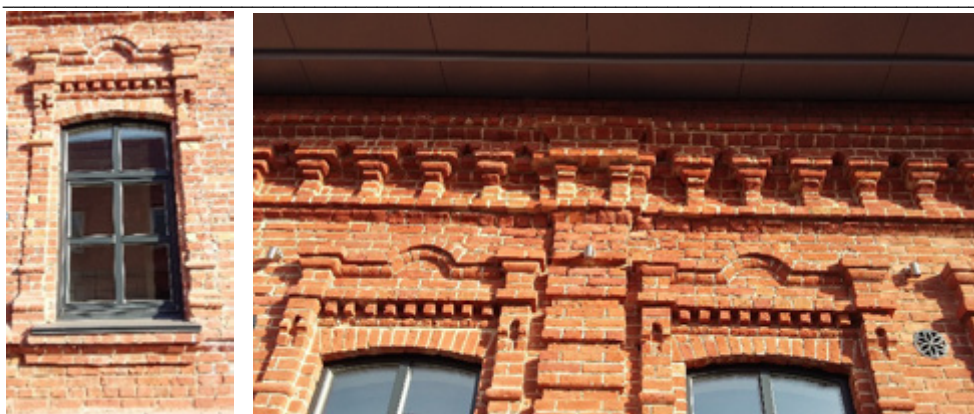


Рис. 5. Детали оформления окон и карниза. Фото Г. А. Птичниковой

Фасадная плоскость на углах и в простенках через каждые 10 проемов оформлена рустованными лопатками. Прямоугольные ниши, в которые вписаны оконные проемы, в верхней части оформлены сухариками. С дворового фасада первый этаж здания прорезают 18 оконных проемов с лучковым завершением.

Выступающий из плоскости стены цоколь выполнен из кирпича и имеет высоту 700...750 мм. На главном фасаде он переходит в наружную стену подвала, открытую за счет светового приямка. Фасад подвального этажа имеет 16 оконных проемов с железобетонными оштукатуренными наличниками и приямками, а также 2 выхода, перекрытых объемными железобетонными конструкциями, защищающими от осадков. Венчающий карниз проходит по периметру здания, его фриз украшает городчатый пояс.

На дворовом фасаде сохранилась декоративная вентиляционная решетка в виде 6-лепесткового цветка (рис. 6). Очень часто на зданиях своих предприятий Вакано размещал фирменный заводской знак, обозначающий союз двух основателей — Вакано и Фабера [19]. Знак напоминает лучезарную дельту, в христианстве — символ «всевидящее око». Хозяин завода со своим компаньоном как бы все время обзревали свои владения.



Рис. 6. Сохранившаяся на фасаде вентиляционная решетка в форме цветка. Фото Г. А. Птичниковой

Реновация памятника промышленной архитектуры

В 1980 г. разработаны предложения для реставрации и приспособления объекта культурного наследия регионального значения «Пивные склады». Однако к реставрации здания приступили только в 2013 г., когда специалисты ООО «НПО Волгоградохранкультура» разработали научно-проектную документацию, получившую положительное заключение историко-культурной экспертизы.

Согласно проекту выполнена новая эксплуатируемая мансардная крыша с применением рамных металлоконструкций, смонтировано монолитное железобетонное перекрытие между первым этажом и мансардой, устроен наружный организованный водосток, восстановлено изначальное фальцевое покрытие кровли, установлены мансардные окна, проведены реставрационные работы по восстановлению кирпичной кладки фасада (рис. 7).



Рис. 7. Здание после реновации: *а* — восстановленный фасад здания; *б* — новая пристроенная лестница. Авторский коллектив: ООО «НПО Волгоградохранкультура», дизайн-студия «ЛЕГКО», ООО «Сантехпроект». Инициатор/заказчик: группа предприятий «Интер-Термогаз». Фото Г. А. Птичниковой

Во время реставрации под тремя слоями бетонного пола цокольного этажа были найдены уникальные царицынские полы из красного кирпича.

Реставрация с элементами реконструкции потребовала использования синтеза исторических традиций и новых технологий, строительных материалов, символов, образов, форм. Появилась новая приставная лестница, которая при всем своем очевидном модернизме как бы исполняет поклон-реверанс в сторону раскрывшегося главного фасада с узорными пилястрами. Еще одним новшеством стали элементы инженерной инфраструктуры (газовое оборудование), которые не нарушают исторический облик здания, напротив, формируют интересный перепад рельефа на обращенном к Сурским баням фасаде здания. Специалисты называют этот подход «лофт-стилистикой» [20]. Недавно обновленный объект получил название «Лофт 1890» (рис. 8, *а*, *б*, *в*).

В результате возрождения бывшего производственного объекта произошла его деиндустриализация, когда изначальные функции заменены общественными. По сути сформирован мультифункциональный креативный мини-кластер, состоящий из выставочных залов, музея, дизайн-студий,

офисов, творческих мастерских, конференц-зала, кафе и т. п. В целом улучшились архитектурно-пространственная структура квартала, его благоустройство и даже экономическая сторона, т. к. в это место пришли молодые люди со свежими идеями, энтузиазмом и желанием работать (рис. 9).



Рис. 8. Интерьеры «Лофт 1890»: *а* — лекционный зал; *б* — двери; *в* — восстановленные элементы интерьера. Рисунок на плитке воссоздан по рисунку на остатках плитки, найденной во время работ по гидроизоляции фундамента. Фото Г. А. Птичниковой



Рис. 9. Реновация памятника промышленной архитектуры «Лофт 1890». Фото Г. А. Птичниковой

Заключение

В ходе реновации памятника индустриального наследия сохранены предметы охраны: архитектурная композиция фасадов, параметры и формы оконных проемов, наличники, материалы и конструктивная основа несущих стен. Анализ процесса реновации здания конторы Царицынского склада пивоваренного завода выявил, что за прошедшие годы объект успешно интегрировался в городскую жизнь, стал востребованным общественным пространством многофункционального назначения. Регенерация территории возрожденного здания «Лофт 1890» стимулирует повышение интереса к новому для Волгограда объекту и увеличивает потенциал развития центра города. Бывший склад после реставрации можно назвать одним из самых притягательных мест в городе.

Трансформация и перефункционализация объектов индустриального наследия является закономерностью развития современной урбанистики и городской культуры. Памятники становятся важным ресурсом города, усиливается степень их адаптации и интеграции в городскую среду. В числе тенденций реновации объектов индустриального наследия можно назвать сохранение духа места, театрализацию нового общественного пространства, техническую реконструкцию, изменение функционального назначения, расширение архитектурных средств адаптации. Одним из средств является использование лофт-стилистики.

Основными приемами можно назвать сохранение и репрезентацию исторической архитектурной основы памятника в проекте реновации, контрастное противопоставление современных и исторических материалов, деталей как в экстерьере, так и в интерьерных пространствах. Подчеркнем, что основными задачами реновации являются сохранение исторической памяти объекта, отражающееся в сохранении первоначальных материалов, декора, колористики, и воссоздание преобразенной истории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексеева Е. В.* Индустриальное наследие: понятия, ценностный потенциал, организационные и правовые основы. Екатеринбург : TATLIN, 2021. 164 с.
2. *Демидова Е. В.* Реабилитация промышленных территорий как части городского пространства // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reabilitatsiya-promyshlennyh-territoriy-kak-chasti-gorodskogo-prostranstva>.
3. *Запарий В. В.* К вопросу об индустриальном наследии и его сохранении // Известия Уральского федерального университета. Серия 1 : Проблемы образования, науки и культуры. 2012. Т. 104. № 3. С. 185—195.
4. *Курлаев А. Е.* Индустриальное наследие в системе охраны и сохранения памятников истории и культуры России: проблемы и перспективы // Российский научный журнал. 2015. № 4(47). С. 72—79.
5. *Штиглиц М. С.* Памятники промышленной архитектуры Санкт-Петербурга. М. : Северный паломник, 2020. 270 с.
6. *Попова Д. Д., Черкасов Г. Н.* Интеграция индустриального наследия в структуру современного города на примере проектируемого кластера Коломна-Луховицы // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. № 3(48). С. 105—117.
7. *Снитко А. В.* Основы реконструкции исторических промышленных предприятий. Иваново : Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, 2008. 115 с.
8. *Терехова Т. Г., Терехова Е. С.* Феномен ревитализации промышленных территорий Москвы в креативные пространства // Современные проблемы высшего образования. Творчество в дистанционном формате: материалы VI международной науч.-практ. конф. 2021. М. : ООО УЦ Перспектива, 2021. С. 595—601.
9. *Холодова Л. П., Кулешова Л. А.* Промышленное предприятие и архитектурное наследие // Развитие промышленной архитектуры Урала : межвуз. сб. М. : МАРХИ : Свердлов. архит. ин-т, 1989. С. 5—15.
10. *Чайко Д. С.* Современные тенденции нового использования исторических промышленных объектов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3-5(45). С. 47—52.
11. *Cossons N.* Why preserve the industrial heritage? // Industrial Heritage Re-Tooled: The TICCIH Guide to Industrial Heritage Conservation. Taylor & Francis Group, 2013. Pp. 6—16.
12. *Otgaar A. H. J., Berg L. V. D., Feng R. X.* Industrial Tourism: Opportunities for City and Enterprise. Routledge, 2010. 242 p.
13. *Severcan Y. C., Barlas A.* The conservation of industrial remains as a source of individuation and socialization // International Journal of Urban and Regional Research. 2007. Vol. 31. No. 3. Pp. 675—682.

14. *Антофеев А. В., Числова И. Ю.* Функционально-планировочные аспекты реновации депрессивных промышленных территорий в приречных зонах городов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 194—202.

15. *Олейников П. П.* Царицын. Архитектура уездного города. Волгоград: Панорама, 2023. 216 с.

16. *Аргасцева С. А., Гуренко Л. В., Жорова Е. П.* Свод историко-архитектурного наследия Царицына — Сталинграда — Волгограда (1589—2004). Волгоград: Панорама, 2004. 240 с.

17. *Серебряная В. В., Дергилев В. Я.* Ревитализация объекта культурного наследия — комплекса казенного винного склада в г. Камышине // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 279—291.

18. *Дворковский Я. Ф., Нетч Ф. Г.* (ред.). Альманах русских пивоваров. Т. 1. М., 1894.

19. *Алекушина Т. Ф.* Уникальная находка в библиотеке фон Вакано // Самарские книжники 3: сб. статей. Самара: ИД Раритет, 2009. С. 351—356.

20. *Райкин А. А.* Новая жизнь индустриальных зданий. Стилистическое соотношение исторической архитектурной основы и ее современных дополнений // Вестник МГХПА им. С. Г. Строганова. 2016. № 2. С. 89—96.

© *Птичникова Г. А., Антофеева О. А., 2023*

*Поступила в редакцию
в июне 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Птичникова Г. А., Антофеева О. А. К проблеме реновации индустриального наследия: комплекс зданий Жигулевских пивных складов в Царицыне // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 221—232.

Об авторах:

Птичникова Галина Александровна — д-р архитектуры, проф., чл.-кор. РААСН, главный научный сотрудник филиала ЦНИИП Минстроя РФ «Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства», проф. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ptichnikova_g@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2629-4225; Scopus ID: 6504749507

Антофеева Ольга Алексеевна — канд. архитектуры, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

Galina A. Ptichnikova, Olga A. Antyufeeva

Volgograd State Technical University

IN THE PROBLEM OF RENOVATION OF INDUSTRIAL HERITAGE: THE COMPLEX OF BUILDINGS OF THE ZHIGULEVSKY BEER WAREHOUSES IN TSARITSYN

The article is devoted to the history of the creation and renovation of the complex of beer warehouses in Tsaritsyn, a monument of industrial architecture in the South of Russia at the end of the 19th century. The purpose of the article is to reveal the regional features of the industrial architecture of the Zhiguli beer warehouses located in Tsaritsyn, as well as in a number of other Volga cities (Samara, Kamyshin, Kazan, Astrakhan), which belonged to the Association of the Zhiguli brewery A. Vakano and Co. The authors reveal the process of successful renovation of an architectural monument and its adaptation to public functions. The architectural solutions of the renovation project are revealed, as well as the possibilities of using the methods of “loft style» as a contrasting comparison of “old” and “new” in a transformed public object.

Key words: monuments of industrial architecture, renovation, adaptation, architecture of Tsaritsyn, Zhiguli beer warehouses.

For citation:

Ptichnikova G. A., Antyufeeva O. A. [In the problem of renovation of industrial heritage: the complex of buildings of the Zhigulevsky beer warehouses in Tsaritsyn]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 221—232.

About authors:

Galina A. Ptichnikova — Doctor of Architecture, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Chief Researcher of the Branch of the Research Institute of the Theory and History of Architecture and Town Planning of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIITIAG RAASN); Professor of Urban Development and Theory of Architecture Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia; ptichnikova_g@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2629-4225; Scopus ID: 6504749507

Olga A. Antyufeeva — Candidate of Architecture, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia

УДК 725.9

В. Н. Шолтышев

Южный федеральный университет

ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ ПОД ОБЩЕСТВЕННУЮ ФУНКЦИЮ В КРУПНЫХ И КРУПНЕЙШИХ ГОРОДАХ ЮГА РОССИИ

Рассмотрены предпосылки внедрения объектов подземной архитектуры и развития подземной урбанистики в южных городах России. Представлены экономические, транспортные, архитектурно-художественные, климатические и природно-экологические факторы, которые оказывают влияние на использование подземного пространства. Проанализирован опыт крупных зарубежных городов, в которых использование подземных пространств позволило реализовать концепцию устойчивого развития территории и уменьшить ряд схожих градостроительных проблем. Сформулированы предпосылки освоения подземных пространств на юге России, в частности для городов Ростова-на-Дону и Краснодара.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подземная архитектура, градостроительство, юг России, общественные пространства, функциональная организация подземных пространств.

Введение

В связи с активно протекающими процессами глобализации и урбанизации города юга России столкнулись с рядом градостроительных, социальных и экономических проблем. Для их решения необходимо в полной мере реализовать концепцию комплексного развития территории, направленную на формирование благоприятных условий для жизни населения. Это не представляется возможным без использования всех ресурсов, к которым относятся и неисчерпанные территориальные ресурсы подземных пространств, расположенных под дневной поверхностью. Дневная поверхность — поверхность современного рельефа местности, в данном случае термин «дневная поверхность» является синонимом наземной части города.

При укрупнении структуры южных городов приоритетными являются 2 пути развития: повышение этажности застройки и увеличение протяженности городов, их рост в горизонтальном направлении, но практически не используются подземные территории [1].

Цель данной работы — рассмотреть предпосылки к переосмыслению роли подземных пространств в градостроительной повестке южных городов России для полноценной реализации концепции устойчивого развития территории и формирования комфортной городской среды.

В настоящее время в крупнейших городах юга наблюдается тенденция активного освоения подземного пространства для различных инженерно-транспортных целей, наиболее востребованным направлением является строительство подземных парковок. Помимо освоения подземного пространства под транспортную функцию в мировом опыте существует множество примеров организации подземного пространства под общественные и коммерческие цели, для чего в крупных городах южных регионов России на сегодня имеются все условия.

Перечислим ряд предпосылок для внедрения подземного строительства в крупных городах юга России:

- неравномерная плотность застройки города. Крупные южные города развиваются центростремительно, в результате чего возникает проблема увеличения плотности застройки в центральной части города;
- историческая застройка центральной части города. Большинство крупных городов юга России имеют продолжительную историю, что не может не отразиться на их архитектурном облике. Строительство современных объектов зачастую разрушает сложившийся исторический контекст;
- дефицит площадок для расположения социально значимых объектов [2]. Из-за высокой плотности застройки центральной части города возникает нехватка территории на дневной поверхности для размещения объектов, естественное освещение которых нормируется. К таким объектам относятся жилые здания, детские сады и школы;
- дефицит озелененных пространств;
- повышение уровня загруженности автодорог, дефицит парковочных мест [3]. Эти проблемы появились в результате увеличения количества личного автотранспорта;
- увеличение протяженности инженерных коммуникаций и их физический износ. Причиной данной проблемы является одноярусная структура города, из-за чего город теряет свою компактность;
- неблагоприятный ветровой режим в комплексе с повышенной солнечной радиацией. Такое сочетание климатических факторов ведет к перегреву дневной поверхности города в летний период, продолжительный для южных городов [4].

1. Экономические предпосылки использования подземного пространства

Согласно С. В. Калошиной [5] соотношение дополнительных капитальных вложений по сравнению с объектами наземной инфраструктуры определяется по формуле:

$$T_{ok} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta K_i}{\sum_{i=1}^n \Delta E_i},$$

где в числителе — суммарные дополнительные капитальные вложения по сравнению с наземными, а в знаменателе — суммарный годовой эффект от эксплуатации подземных сооружений. Из чего можно сделать вывод, что происходящее удорожание на 15...20 % объектов подземной архитектуры по сравнению с объектами наземными полностью нивелируется и незначительно влияет на срок окупаемости проекта, т. к. подземное размещение позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы.

Кроме того, ресурс подземных пространств практически неисчерпаем, что позволит увеличить площадь города настолько, насколько потребуют обстоятельства [6]. Это наиболее чувствительный аспект для крупных и крупнейших городов, в которых либо уже отсутствуют территории, пригодные

Городской автовокзал является северной точкой сети, самая южная точка — многоэтажное офисное здание WaterPark Place, большая часть пешеходных подземных туннелей параллельна основным улицам. В настоящее время сеть включает порядка 1400 магазинов, общая площадь которых более 372 тыс. м². Торговые объекты связаны с 6 станциями метро и достопримечательностями центральной части города подземной сетью протяженностью более 30 км. Входы в подземное пространство организованы как с поверхности земли, так и через наземную часть зданий, подземное пространство под которыми входит в структуру сети.

Ежедневно данную сеть используют более 100 тыс. пешеходов, это позволяет снизить нагрузку на транспортные сети города, уменьшить количество индивидуального автотранспорта, что благоприятно сказывается на экологической ситуации. Развитие подземного яруса в масштабах целого города позволило решить ряд градостроительных проблем. С каждым годом PATH развивается все активнее, увеличивая свою протяженность и внедряя новые общественные функции (рис. 2).

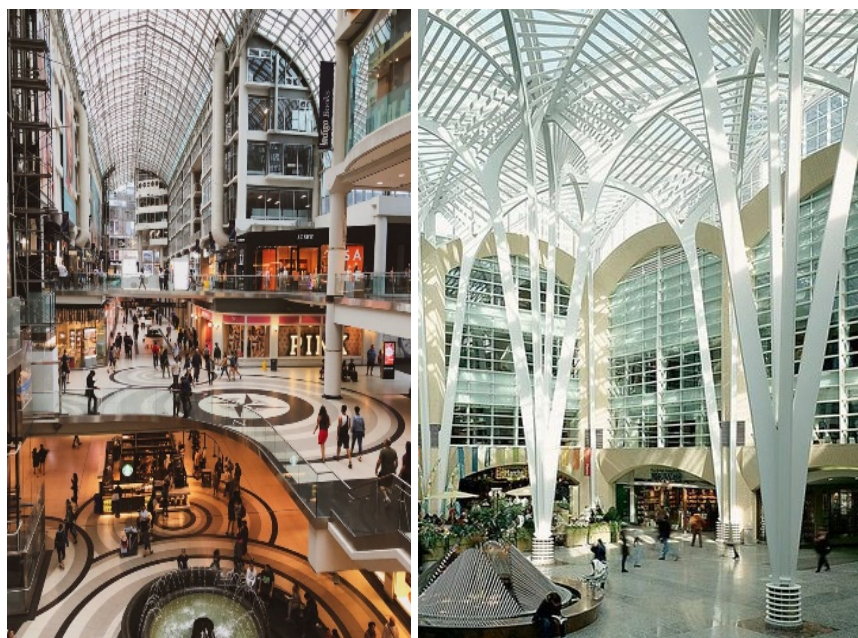


Рис. 2. Подземная сеть PATH, Торонто

Согласно экономическому отчету города Торонто, в первом квартале 2022 г. доход от сети превысил 1,7 млрд долл., что принесло в бюджет города 271 млн долл. налоговых отчислений¹. Согласно экономической стратегии «подземной экономики» Канады, RESO и PATH уже несколько лет как окупили затраты на строительство и в последние пару лет показывают стремительный рост прибыли от аренды и эксплуатации.

¹ 2022 City of Toronto Budget Summary. URL: <https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2022/05/95be-2022-City-of-Toronto-Budget-Summary.pdf>.

2. Транспортные предпосылки использования подземного пространства

Большинство крупных южных городов, таких как Ростов-на-Дону и Краснодар, имеет одноярусную структуру, их укрупнение происходит за счет строительства многоэтажных зданий и горизонтального разрастания, что ведет к потере компактности и, как следствие, увеличению протяженности автодорог и инженерных коммуникаций. В комплексе с тенденцией увеличения количества личного автотранспорта происходит повышение загруженности автодорог, формируется дефицит парковочных мест. В мировой практике существует большое количество примеров, когда перенос транспортной и инженерной инфраструктуры позволил создать важные общественные объекты на дневной поверхности [8].

Retuel Park является важным примером такого подхода. Он представляет собой ландшафтный ансамбль длиной около 600 м, шириной 60 м и покрывает участок крупнейшей Мюнхенской автострады, так называемое Среднее Кольцо — одну из самых посещаемых городских улиц Мюнхена. Из-за интенсивности трафика принято решение опустить улицу под землю, чтобы стабилизировать обстановку на дневной поверхности города (рис. 3).



Рис. 3. Мюнхенская автострада до реконструкции

В жилом районе больше нет интенсивного трафика, шума и выхлопов от машин, вместо этого жители наслаждаются прекрасным ландшафтным парком, соединяющим между собой 2 ранее разрозненных района города [9]. Сам парк приподнят в среднем на 2,5 м от поверхности земли, что позволяет создать 4 зоны различных активностей — южная часть парка преимущественно отдана под тихий отдых, в то время как северная, в которой размещаются шумные игровые площадки и площадь, предполагает активный городской отдых (рис. 4). Retuel Park — прекрасный пример того, как при помощи современных технологий на месте загруженной трафиком улицы можно создать важные и необходимые объекты городской среды, которые не только дарят эстетическое удовольствие, но и благоприятно влияют на экологию места.

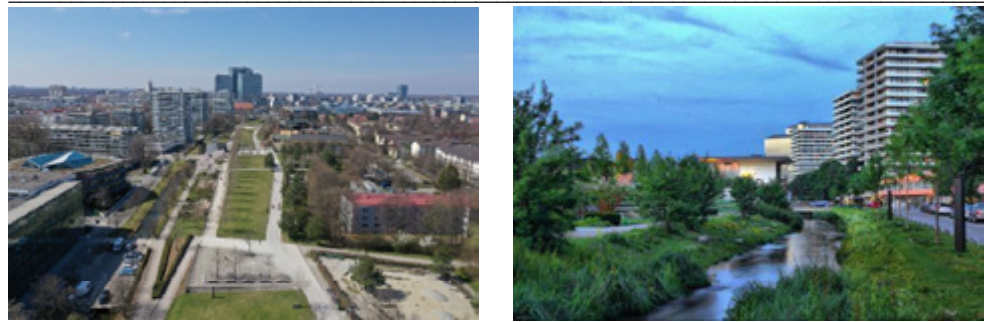


Рис. 4. Petuel Park после реконструкции, Мюнхен

3. Архитектурно-художественные предпосылки использования подземного пространства

Юг России издревле является одним из важнейших торговых узлов, что не могло не отразиться на архитектурном решении зданий. Центральные части Ростова-на-Дону и Краснодара представлены историческими зданиями, формирующими колорит южной архитектуры [10]. Строительство современной инвестиционно привлекательных объектов зачастую разрушает сложившийся исторический контекст. Использование подземного уровня позволит создать устойчивый экономический каркас в центральной части за счет уплотнения застройки социальными и общественными объектами.

В мировой практике существуют успешные примеры уплотнения среды исторической части городов за счет использования подземного пространства [11].

Одним из них является торговый центр Forum de Halles (рис. 5) во Франции, располагающийся на месте рынка Ле Аль, который в процессе уплотнения Парижа перестал удовлетворять потребности жителей [12]. В 1976 г. был объявлен конкурс на реновацию объекта. В конкурсе победил проект прямоугольного в плане здания, состоявшего из 5 уровней, 4 из которых были подземными. Наземный же этаж выступает входной группой, бионичная стеклянная кровля которого сочетается с металлическими портиками, арками и колоннами. Помимо стеклянной кровли, естественное освещение поддерживает система линз и зеркал, доставляющая свет на нижние уровни.

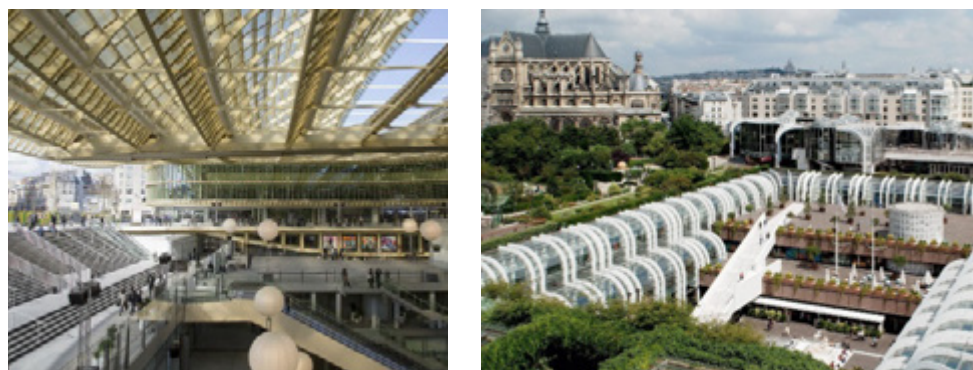


Рис. 5. Forum de Halles, Париж

Другим характерным примером является МФК «Павелецкая плаза» — на 32 тыс. м² площади в центре Москвы был построен уникальный для России многофункциональный объект (рис. 6).



Рис. 6. МФК «Павелецкая плаза», Москва

Площадь перед вокзалом стала важной центральной точкой притяжения, вместо строительства наземного объекта группой архитекторов было принято решение создания 4-уровневого подземного объекта с парком на поверхности, 75 % которого предполагается озеленить. Вход в комплекс осуществляется через выступающие на поверхности стеклянные кровли, через систему лестниц и пандусов, скрытых под навесами. Кровли также играют значительную роль в архитектурном облике комплекса, с помощью них в подземное пространство проникает естественный свет, они являются зонами привлечения внимания, через них прекрасно видно подземные объемы торгового центра.

4. Климатические особенности

Немаловажной особенностью юга России являются климатические условия — неблагоприятный ветровой режим в комплексе с повышенной солнечной радиацией. Такое сочетание климатических факторов ведет к перегреву дневной поверхности города в летний период, продолжительный для южных городов, что снижает возможность всесезонного функционирования открытых общественных пространств.

Важным преимуществом подземных объектов является стабильность температуры, которая не зависит от температуры на поверхности [13]. Данный аспект позволяет оптимизировать использование климатического оборудования, в значительной степени сократив затраты на эксплуатацию. Кроме того, подземные сооружения, объединенные в единую сеть, позволяют всесезонно использовать городскую среду, что наиболее актуально для городов России, находящихся преимущественно в умеренном поясе с холодной зимой и знойным летом.

Создание сети подземных пространств позволило бы решить эту проблему. Одним из лучших примеров подземной сети является подземная сеть RESO, Монреаль (рис. 7). Одним из факторов, повлиявших на проектирование подземного города, является климат. В Монреале достаточно суровая и продолжительная зима, а также влажное и жаркое лето. Развитие подземной инфраструктуры позволяет расширить возможности социокультурной жизни города на 12 месяцев в году [14]. RESO состоит из: 2 железнодорожных станций, 10 станций метрополитена, 2 автобусных остановок и более 60 зданий.

Пешеходная сеть получила название RESO — La Ville Souterraine («подземный город»). Общая протяженность RESO — более 32 км, устроено более 150 входов с поверхности улиц. Сеть расположена под районом города с большой плотностью застройки и позволяет разгрузить пешеходные потоки на дневной поверхности. В подземные пространства вынесены объекты общегородского значения, на сегодняшний день в структуру сети входит порядка 2000 магазинов, более 200 ресторанов, 34 кинотеатра, 43 автопарковки, несколько театров и 4 выставочных комплекса, один из которых находится на станции метро «Площадь искусств».

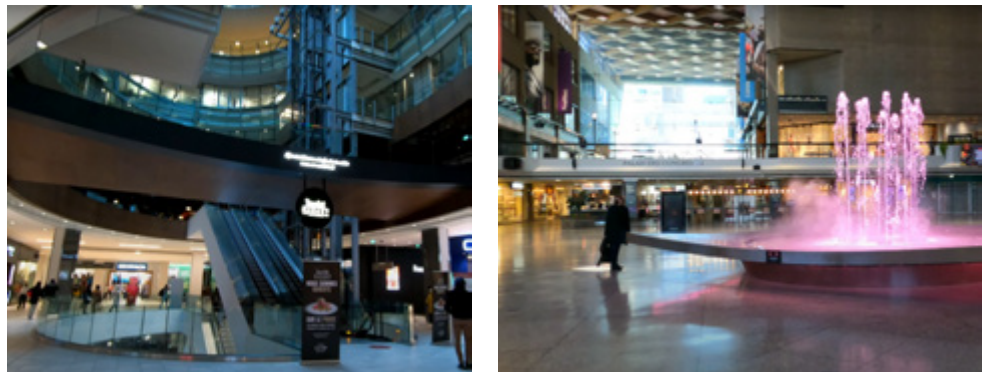


Рис. 7. Подземная сеть RESO, Монреаль

Уникальным примером в структуре сети является торговый комплекс Promenades Cathedrales, расположенный под кафедральным собором Монреаля. Представители церкви сами продали землю для строительства торгового центра и не против такого соседства. Формирование подземной сети происходило на протяжении долгого времени и было осложнено некоторыми аспектами. Например, власти Монреаля не имели законных прав использовать подземное пространство, находящееся менее чем в 10 м под частными зданиями. Первое время город выкупал участки, однако со временем местные предприниматели увидели эффективность работы первых участков подземной сети и стали заключать контракты, добровольно формируя подземные уровни под своей собственностью.

5. Природно-экологические предпосылки использования подземного пространства

Современные южные города сталкиваются с проблемами интенсивного роста, что неизбежно ведет к дефициту озелененных пространств в центральной части. Коммерческая застройка активно захватывает озелененные пустыри и лесопарковые массивы, лишая город природного каркаса. Эта проблема также решается за счет создания многоуровневой системы озеленения: применения зеленых кровель, наземных парковых площадей и использования современных достижений науки и техники для проектирования системы подземных парков.

На текущий момент лучший пример использования подземного пространства для парковой функции — подземный парк Low Line (рис. 8), США. Нью-Йорк является одним из крупнейших мегаполисов с рядом вытекающих

из этого проблем. Так, в юго-восточной части Манхеттена в 1948 г. из-за закрытия железной дороги утратил свою функцию подземный вокзал Williamsburg Bridge Railway terminal. В 2011 г. архитектор Джеймс Рэмси разработал проектное предложение по реорганизации подземного пространства заброшенного вокзала в парковое пространство, поскольку дефицит озелененных территорий — одна из основных проблем мегаполиса.



Рис. 8. Подземный парк Low Line, США

Проект был принят к реализации в 2015 г., его строительство завершилось в 2021 г. Данный проект разработан в контексте переосмысления устаревших функций в пользу более рационального использования городских территорий. Предполагается, что парк не только поможет приуменьшить проблему дефицита озеленения, но и станет одним из знаковых мест Нью-Йорка, позволит разнообразить вариантность туристических маршрутов.

Парк представляет собой озелененное подземное пространство, площадь которого составляет более 2 га. Вопрос с естественным освещением пространства парка решен следующим образом — освещение устроено посредством системы линз, зеркал и волоконно-оптических кабелей (рис. 9).

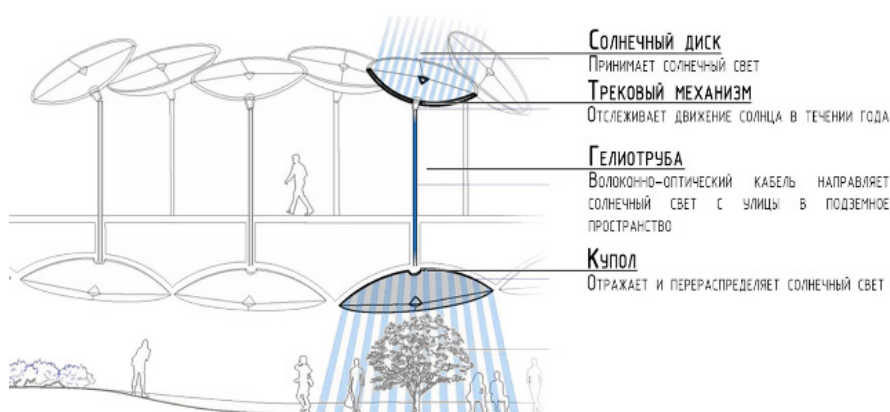


Рис. 9. Схема устройства волоконно-оптических кабелей

Данная система позволяет перенаправлять свет с поверхности земли и крыш соседних зданий в подземное пространство парка. Ключевой особенностью парка является объединение растений из разных климатических поясов, не произрастающих на одной территории в природной среде. Кроме озеленения в парке располагаются места для отдыха, спортивные площадки и малые архитектурные формы.

По задумке авторов после строительства основного объема парка на свободных территориях начнется строительство многофункционального жилого комплекса, подземная часть которого будет соединена с парком переходом. Такое решение позволит привлечь посетителей в парк и положить начало создания подземного уровня Нью-Йорка.

Выводы

1. Современный центр крупного южного города не является комфортным местом для проживания, решить данную проблему поможет переосмысление роли подземного пространства в современной градостроительной повестке. Рациональное использование подземного пространства и формирование полноценного подземного уровня города позволит перенести часть общественных функций в подземные пространства, освободив место под значимые социальные объекты на поверхности [15].

2. Затраты на строительство объектов подземной архитектуры незначительно превышают стоимость возведения классического здания, однако в долгосрочной перспективе позволяют сократить расходы на эксплуатацию и обслуживание здания. Экономический эффект от комплекса подземных зданий или же сети в значительной степени положительно влияет на благополучие города, в котором он размещен.

3. Использование подземного пространства с целью распределения транспортных потоков является приоритетным направлением для крупных и крупнейших городов, так как, во-первых, позволяет создать безопасную окружающую среду, что благоприятно сказывается на ситуации с трафиком в городе. Во-вторых, вынос ряда транспортных путей под землю и размещение на их месте общественных объектов положительно отражается на экологии района строительства.

4. Строительство объектов подземной архитектуры на территории юга России позволит не потерять ценный архитектурный облик городов и внедрить необходимые функции, не разрушая визуальные качества среды, что в теории должно положительно повлиять на туристический потенциал городов, сделав их притягательным не только для туристов, но и для жителей города.

5. Кроме того, рациональное использование городского пространства за счет внедрения подземных уровней создаст благоприятные условия для все-сезонного использования города, что актуально для городов юга России, летняя температура в которых зачастую превышает +40 °С, а температура под поверхностью земли стабильна и не подвержена сезонным изменениям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Голубев Г. Е.* Подземная урбанистика и город : учеб. пособие. М. : ИПЦ МИКХиС, 2005. 124 с.
2. *Картозия Б. А.* Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции // Горный информационно-аналитический бюллетень. № 1. 2015. С. 615—630.

3. Глозман О. С. Формирование классификации подземных зон города // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 6—3. С. 111—114.
4. Шевченко Л. П. Архитектура атриумных пространств крупных общественных зданий : монография. Ростов н/Д : Изд-во Южного федерального университета, 2011. 75 с.
5. Калошина С. В. Основные предпосылки и сдерживающие факторы в освоении подземного пространства города Перми // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7. № 3. С. 78—90.
6. Diogo M., Diogo M., Diogo P., Diogo J. The Underground Architecture // International journal of engineering research & technology. 2019. Vol. 08. Pp. 310—314.
7. Pierre Be'langer Underground landscape: The urbanism and infrastructure of Toronto's downtown pedestrian network // Tunnelling and Underground Space Technology. 2007. No. 22. Pp. 272—292.
8. Коротаев В. П. Новые принципы пространственной организации российского мегаполиса // Подземные горизонты. 2017. № 12. С. 10—13.
9. Schöne B. Mein Ring-Kampf um drei Tunnel und den Petuelpark. Amberg: Büro Wilhelm Verlag, 2021. 104 p.
10. Кишкинова Е. М., Лапунова К. А. К вопросу о вернакулярной тенденции в застройке Ростова-на-Дону второй половины XIX века // Инженерный вестник Дона. 2022. № 5. С. 89.
11. Boschi A. Poetics of Underground Space: Architecture, Literature, Cinema. London : Büro Wilhelm Verlag, 2021. 160 p.
12. Qiao Y.-K., Peng F.-l., Sabri S., Rajabifard A. Low Carbon Effects of Urban Underground Space // Sustainable Cities and Society. 2018. No. 45. DOI: 10.1016/j.scs.2018.12.015.
13. Feng D., Guozhang B. Basic theoretical issues of urban ecosystem and eco-city // Urban Development Research. 2001. No. 8. Pp. 32—35.
14. Besner J. Planning and developing an underground city with or without a master plan: the Montreal case. // ACUUS International Conference Proceedings, Seoul. 2014. No. 14. P. 22.
15. Макаров А. В., Павлова М. А., Дегтярева Л. Е. Организация общественного пространства в подземных переходах города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 186—191.

© Шолтышев В. Н., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Шолтышев В. Н. Предпосылки использования подземных пространств под общественную функцию в крупных и крупнейших городах Юга России // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 233—244.

Об авторе:

Шолтышев Василий Никитович — аспирант Академии архитектуры и искусств, Южный федеральный университет (ЮФУ). Российская Федерация, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр-т Буденновский, 39; vsholtyshev@sfedu.ru

Vasily N. Sholtyshev

Southern Federal University

PREREQUISITES FOR THE USE OF UNDERGROUND SPACES FOR A PUBLIC FUNCTION IN LARGE AND LARGEST CITIES OF THE SOUTH OF RUSSIA

In this paper, the prerequisites for the introduction of underground architecture objects and the development of underground urbanism in the southern cities of Russia are considered. The experience of large foreign cities in which the use of underground spaces allowed to realize the concept of sustainable development of the territory and to downplay a number of major urban development

problems is analyzed. The prerequisites for the development of underground spaces in the south of Russia are formulated.

Key words: underground architecture, urban planning, southern Russia, public spaces, functional organization of underground spaces.

For citation:

Sholtyshev V. N. [Prerequisites for the use of underground spaces for a public function in large and largest cities of the south of Russia]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 233—244.

About author:

Vasily N. Sholtyshev — Postgraduate student, Southern Federal University. 39, Budennovsky Ave., Rostov on Don, 344082, Russian Federation; vsholtyshev@sfedu.ru

УДК 711.4

А. В. Игнатьев, Н. А. Юрасов, М. А. Куликов

Волгоградский государственный технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ДОШКОЛЬНОГО И ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-20024
(<https://rscf.ru/project/22-11-20024>) и Волгоградской области*

*Авторы выражают благодарность коллегам по кафедре цифровых технологий
в урбанистике, архитектуре и строительстве ИАиС ВолгГТУ,
принимавшим участие в разработке проекта*

Рассматривается применение геоинформационных технологий и геоинформационных систем при планировании размещения учреждений дошкольного и общего образования в условиях быстрого роста городов. Одним из приоритетных направлений социально-экономического развития муниципальных образований является повышение качества жизни человека. В этом контексте размещение организаций дошкольного и общего образования, соответствующее принятым градостроительным нормативам, является неотъемлемой частью этой работы. Подчеркивается необходимость создания системы, позволяющей определить наилучшее градостроительное решение для размещения образовательных учреждений при планировании застройки новых городских территорий. Применение геоинформационных технологий и геоинформационных систем обеспечивает широкие возможности для анализа участков, выбора оптимальных мест для размещения объектов образования, анализа транспортной доступности и исправления других проблем, что помогает оптимизировать планирование и повысить качество жизни горожан. Рассмотрено использование свободной кроссплатформенной геоинформационной системы QGIS при анализе размещения организаций дошкольного и общего образования на вновь застраиваемой территории. Демонстрируются преимущества геоинформационных технологий и геоинформационных систем при таком планировании.

Ключевые слова: размещение организаций дошкольного и общего образования, геоинформационные технологии, геоинформационные системы, QGIS.

Быстрый темп роста городов создает множество проблем, актуальных для многих стран [1]. Одной из первоочередных задач становится улучшение качества жизни граждан. Важное значение в этом процессе приобретает размещение организаций дошкольного и общего образования с учетом градостроительных норм и требований.

Возникает необходимость создания системы поддержки принятия решений для выбора наиболее оптимального места размещения организаций дошкольного и общего образования в процессе планирования застройки новых территорий [2—4].

Появление геоинформационных систем (ГИС) качественно изменило ситуацию в градостроительном проектировании, начиная от выбора территорий для строительства новых городов [5, 6] и заканчивая вопросами рационального землепользования [7]. Появилась реальная возможность создания градостроительной документации нового поколения. Более того, в корне изменился сам подход к проектированию. ГИС-технологии применяются для проектирования застройки и расселения населения [8, 9], они предоставляют новые возможности для оптимизации градостроительных решений и важны для устойчивого развития городов [10].

ГИС-технологии позволяют учитывать экологические факторы, такие как загрязнение воздуха и шумовая обстановка, при выборе места размещения образовательных учреждений. Создание градостроительной документации с использованием ГИС-технологий является более точным и эффективным способом планирования застройки городских территорий, помогает улучшить качество жизни людей и поддерживать устойчивое развитие на муниципальном уровне [11—14].

Первостепенной задачей лица, ответственного за застройку территории, является проверка соответствия предоставленного проекта градостроительного решения, касающегося размещения учреждений дошкольного и общего образования, нормативам, определяющим возможность их размещения на застраиваемой территории. В России такие нормативы содержатся в различных документах, включая Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации», Градостроительный кодекс Российской Федерации, правила землепользования и застройки, а также муниципальные правовые акты.

Помимо нормативов следует учитывать дополнительные факторы, такие как доступность общественного транспорта. Для этого можно использовать данные о маршрутах общественного транспорта и расстоянии от домов до ближайших остановок.

При выборе места для детских учреждений важно учитывать экологические факторы, избегая размещения рядом с автомагистралями, промышленными предприятиями, чтобы не нанести вред здоровью детей.

Дети являются наиболее уязвимой категорией населения и чрезвычайно чувствительны к воздействию загрязненного воздуха. Ежедневное длительное пребывание в зоне повышенной концентрации вредных веществ может негативно сказаться на их здоровье и привести к серьезным заболеваниям, включая ослабление иммунной системы, аллергии, астму и рак. Поэтому при выборе места для строительства детских садов и школ для минимизации воздействия вредных веществ необходимо учитывать ветровые направления и расстояния до источников загрязнения воздуха [15]. Это поможет обеспечить благоприятные условия для обучения и развития.

При выборе места для размещения детских учреждений необходимо учитывать шумные автодороги, железнодорожные пути, газопроводы, линии электропередачи и другие инфраструктурные объекты.

Чтобы обеспечить детям возможность активного отдыха и физического развития, необходимо учитывать доступность зеленых зон и парков.

Использование кроссплатформенной ГИС QGIS¹ позволяет учесть эти факторы при выборе лучшего планировочного решения по размещению детских садов и школ на застраиваемой территории.

Если эксперту, ответственному за застройку территории, представлено несколько вариантов градостроительных решений, то, используя QGIS, он имеет возможность сравнить их по предварительно выбранным критериям. Эти критерии могут включать в себя доступность общественного транспорта, демографические данные, расстояние от домов до учреждений, наличие зеленых зон и другие факторы, влияющие на качество жизни.

¹ QGIS — свободная географическая информационная система с открытым кодом // QGIS. URL: <https://qgis.org/ru/site>.

Градостроительные решения могут быть представлены в виде разных слоев. Сравнив их с точки зрения расположения детских садов и школ (соответствия нормативам размещения, пешеходной доступности и т. д.), можно выбрать наилучшее.

Первый слой — это планировочные схемы города, которые включают в себя информацию о размещении территорий для жилой застройки, промышленных объектов и других функциональных зон.

Второй слой — это проекты застройки кварталов, которые определяют расположение домов, улиц и общественных пространств. В этих проектах важно продумать размещение детских садов и школ, обеспечивающее пешеходную доступность и соответствие нормам размещения.

Третий слой — это проекты общественных пространств, таких как парки, скверы и площади. Здесь тоже нужно учитывать потребности детей и обеспечить размещение детских площадок и игровых зон.

Четвертый слой — это проекты благоустройства, которые включают в себя проектирование детских площадок, спортивных площадок, велодорожек и других объектов инфраструктуры.

Сравнивая различные варианты градостроительных решений, можно определить наилучший с точки зрения размещения детских садов и школ, обеспечения их пешеходной доступности и соответствия нормам размещения.

Градостроительные решения, выполненные в AutoCAD, можно загрузить в QGIS, привязав их к существующей там векторной карте города. Для социальных объектов, в частности учреждений дошкольного и общего образования, присутствующих в градостроительных решениях, существуют нормативы на их размещение. С помощью QGIS можно проверить их выполнение и выбрать лучший вариант.

Для этого нужно загрузить в QGIS векторные слои с градостроительными решениями и социальными объектами, а также векторный слой с нормативами на их размещение. Затем следует выполнить следующие шаги:

1. Привязать слой с градостроительными решениями к существующей векторной карте города.

2. Отобразить слой с нормативами на карте и проверить, какие требования к размещению социальных объектов они содержат.

3. Отфильтровать слой с социальными объектами по типу объекта (школы, больницы, парки и т. д.) и проверить, соответствует ли их местоположение нормативам.

4. Сравнить различные варианты градостроительных решений по соответствию нормативам на размещение социальных объектов.

5. Выбрать лучшее градостроительное решение, учитывая соответствие нормативам на размещение социальных объектов и другие факторы (экономические, экологические и пр.).

6. Выполнить финальное редактирование выбранного градостроительного решения в AutoCAD, если это необходимо.

Использование QGIS позволяет создавать карты и проводить анализ данных для принятия обоснованных решений при выборе места размещения образовательных учреждений. Можно использовать инструменты пространственного анализа для определения оптимального расположения учреждений, учитывая все необходимые факторы.

QGIS позволяет осуществлять визуальный контроль соблюдения норм по удаленности школ от промышленных объектов, автомобильных и железных дорог путем построения вокруг них буферных зон. С помощью этого же инструмента можно определить максимальную удаленность детских садов и школ от домов, где живут дети, «по воздуху».

В качестве примера приведем использование разработанной методики для анализа вариантов размещения организаций дошкольного и общего образования при реконструкции участка п. Тир, расположенного в западной части Краснооктябрьского р-на Волгоград.

Картографическая база выполнена в ГИС QGIS с помощью системы автоматизированного проектирования AutoCAD и представлена сериями слоев электронных карт, содержащих информацию об основных показателях оценки территории, существующей и запроектированной сети образовательных учреждений, функционального использования территории.

При сравнении планировочных решений, представленных на рис. 1, 2, видно, что 2-е решение является предпочтительным по критерию «пешеходная доступность» детских садов.



Рис. 1. Фрагмент карты с первым вариантом планировки



Рис. 2. Фрагмент карты со вторым вариантом планировки

Заключение

Использование QGIS при планировании размещения детских учреждений является необходимым инструментом создания благоприятной среды для обучения и развития детей. Это позволяет учитывать множество факторов,

включая экологические, транспортные и социальные, и выбирать наилучший вариант градостроительного решения для размещения детских учреждений. Использование интерактивных карт и учет мнения жителей города повышает уровень доверия к градостроительной политике.

В QGIS можно использовать инструменты анализа расстояний, такие как расстояние до ближайшего объекта, расстояние между объектами, создание изолиний расстояний и др. Они помогают контролировать соблюдение норм и требований, связанных с расстояниями между объектами, быстро выявлять и исправлять нарушения в планировании городской среды, определять проблемные зоны, где жители имеют ограниченный доступ к детским учреждениям, и планировать новые объекты в этих районах.

В результате можно создать безопасную и комфортную среду для обучения и развития детей, улучшить доступность образования для жителей города и снизить риски возникновения проблем в будущем, что является важным фактором развития города в целом.

ГИС QGIS позволяет проводить мониторинг изменений в городской среде и вносить корректировки в планы размещения учреждений в соответствии с изменяющимися условиями и потребностями жителей. Использование QGIS и учет множества факторов в планировании размещения детских учреждений является необходимым инструментом для обеспечения качественной градостроительной политики, ее соответствия нормативам, обеспечения безопасности и здоровья детей и улучшения качества жизни жителей города.

QGIS позволяет эффективно анализировать градостроительные решения с точки зрения соответствия нормативам на размещение социальных объектов, выбрать наилучшее решение, учитывая социальные потребности города и общественные интересы, способствуя повышению доступности образования для детей и снижению рисков возникновения проблем в будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Magagnin R. C., Rodrigues D. S., Ramos R. A. R., Silva A. N.* A spatial decision support system for participative planning. In Abstracts. London: University College London, 2005.
2. *Шеина С. Г., Бабенко Л. Л.* Информационно-аналитическое обеспечение системы перспективного планирования размещения образовательных учреждений при реконструкции городских территорий // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2010. № 2(12). С. 11.
3. *Шеина С. Г., Бабенко Л. Л., Белая Е. В.* Градоэкологическое обоснование размещения образовательных учреждений при реконструкции городских территорий с использованием ГИС-технологий // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4—2(23). С. 209.
4. *Бабенко Л. Л., Хатунцева А. В.* Информационно-аналитическое обеспечение системы перспективного планирования размещения учреждений образования и здравоохранения при реконструкции городской территории // Инженерный вестник Дона. 2013. № 2(25). С. 116.
5. *Ahmed H., Alfaraj M., Fayad M., Casey A.* Optimizing site selection of new cities in the desert using environmental geomorphology and GIS: a case study of Kuwait. *Applied Geomatics*. 2021. Vol. 13. Iss. 2. DOI: 10.1007/s12518-021-00403-1.
6. *Анопин В. Н., Рулев А. С., Матовников С. А., Матовникова Н. Г.* Картографирование урбандиафтов с применением геоинформационных технологий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 68—81.
7. *A Spatial Decision Support System for evaluation various land uses in built up urban area / M. Taleai, S. Mesgari, M. Sharifi, R. Sliuzas, N. Barati // Asian Association on Remote Sensing — 26th Asian Conference on Remote Sensing and 2nd Asian Space Conference, ACRS 2005. URL: https://www.researchgate.net/publication/228948588_A_Spatial_Decision_Support_System_for_evaluation_various_land_uses_in_built_up_urban_area.*

8. Бектуров А., Чымыров А. Использование ГИС в территориальном планировании // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2013. № 2. С. 124—125.

9. Пенцев Е. А., Макарова О. А. Применение географических информационных систем в градостроительной деятельности // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2017. № 3(34). С. 40—44.

10. Van Maarseveen M., Martinez J., Flacke J. GIS in Sustainable Urban Planning and Management: A Global Perspective (1st ed.). CRC Press, 2018. DOI: org/10.1201/9781315146638.

11. Ninglong Y. Using GIS-based measurements and MLR for understanding the effect of street network characteristics on walking // GeoJournal. 2023. DOI: 10.1007/s10708-022-10821-2.

12. Rybarczyk G., Ozbil A., Yesiltepe D., Argin G. Walking Alone or Walking Together: Spatially Evaluating Children's Travel Behavior to School. Environment and Planning B Urban Analytics and City Science. 2023. DOI: 10.1177/239980832311611612.

13. Intan A., Zaharah Y., Dasimah O., Adzlia R. Walking Measure to School: Short Route or Safe Route? // Conference: Tokyo International Conference on Social Science. 2014. Vol. 6.

14. Sahil K., Tejwant B. Examination of metro stations pedestrian accessibility for all using open data kit: a case study of noida city in India // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2022. Vol. 2XLVIII-4/W1. Pp. 251—257.

15. Сидоренко В. Ф., Игнатъев А. В., Аброськин А. А. Формирование системы экологического мониторинга атмосферного воздуха с учетом градостроительного развития населенных мест : монография. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2020. 132 с.

© Игнатъев А. В., Юрасов Н. А., Куликов М. А., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Игнатъев А. В., Юрасов Н. А., Куликов М. А. Использование ГИС-технологий при планировании размещения организаций дошкольного и общего образования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 245—251.

Об авторах:

Игнатъев Александр Владимирович — д-р техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; alignat70@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-0733-8808

Юрасов Никита Александрович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; yura-sov.nkt@gmail.com

Куликов Михаил Александрович — ассистент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; mku-likov1997@mail.ru

Alexander V. Ignatyev, Nikita A. Yurasov, Mikhail A. Kulikov

Volgograd State Technical University

USING GIS TECHNOLOGIES IN PLANNING THE LOCATION OF PRESCHOOL AND GENERAL EDUCATION ORGANIZATIONS

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-11-20024 (<https://rscf.ru/project/22-11-20024>) and the Volgograd region

The authors express their gratitude to colleagues at the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction of the VSTU, who participated in the development of the project

The article discusses the use of geoinformation technologies and geoinformation systems in planning the placement of preschool and general education institutions in the conditions of rapid urban growth. One of the priority areas of socio-economic development of municipalities is work aimed

at improving the quality of human life. In this context, the placement of preschool and general education institutions that comply with established urban planning norms is an integral part of the work. The article emphasizes the need to create a decision support system that allows for determining the best urban planning solution for the placement of educational institutions in planning new urban territories. The use of geoinformation technologies and GIS provides wide opportunities for analyzing areas, selecting optimal locations for educational facilities, analyzing transportation accessibility, and solving many other problems, which in turn helps optimize planning and increase the quality of life for city residents. As an example, the article provides the use of the free cross-platform geoinformation system QGIS when analyzing the placement of preschool and general education institutions in newly developing territories. Thus, this article demonstrates the advantages of using geoinformation technologies and systems in planning the placement of preschool and general education institutions in urban areas. They allow not only optimizing planning but also improving the quality of life of city residents.

Key words: placement of preschool and general education organizations; geoinformation technologies, geoinformation systems, QGIS.

For citation:

Ignatyev A. V., Yurasov N. A., Kulikov M. A. [Using GIS technologies in planning the location of preschool and general education organizations]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 245—251.

About authors:

Alexander V. Ignatyev — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia; alignat70@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-0733-8808

Nikita A. Yurasov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia; yurasov.nkt@gmail.com

Mikhail A. Kulikov — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia; mkulikov1997@mail.ru

УДК 728.3:504.03

И. В. Черешнев, Н. В. Черешнева, Л. И. Черешнеев

Волгоградский государственный технический университет

ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЯ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ЖИЛИЩА

Рассматривается влияние современной урбанизации на состояние окружающей среды. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта выделены особенности оценки жизненного цикла зданий. Определена необходимость в применении новых подходов в проектировании жилых зданий, цель которых состоит в повышении экологических качеств современного жилища. Основу формирования этих качеств должна определять оценка полного жизненного цикла здания от закупки сырья до демонтажа и размещения отходов. Для реализации поставленных целей предлагается применять методы энергетического анализа. Выявлены новые критерии оценок и выбора технологий производства строительных материалов, технологий возведения жилых зданий, планировочных решений и приемов формообразования жилых домов и комплексов, систем коммунального обслуживания. На основе проведенного анализа экологических норм и стандартов разработана модель сравнительного анализа суммарных потоков энергии, обеспечивающих формирование и функционирование технологической энергосистемы жилища. В построенной модели предлагается рассматривать современное жилище как системный объект жизнедеятельности человека, включающий в себя подсистемы микроклимата жилища, архитектурной формы, микроклимата открытых пространств.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экологический стандарт, жизненный цикл, энергетический анализ, энергосистема жилища.

Введение

В начале XXI в. мир столкнулся с глобальными кризисами. Наиболее устойчивыми предпосылками нарастания экономических и гуманитарных проблем как для развитых, так и для развивающихся экономик мира становятся энергетические аспекты потребления. Сохранение природных ресурсов и обеспечение тем самым экологического баланса в мире является одной из первоочередных задач в поддержании глобальной безопасности и сохранении жизни на планете Земля. Именно вопросы глобальной экологической безопасности привлекают пристальное внимание ученых, специализирующихся в различных областях науки, к сложному комплексу проблем, вызванных условиями распределения и потребления энергетических ресурсов.

Первое международное природоохранное соглашение, связанное с реакцией мирового сообщества на глобальное потепление, появилось в июне 1972 г. на конференции Организации Объединенных Наций в Стокгольме. На конференции была выпущена декларация, в которой содержался призыв к народам мира приложить все усилия для сохранения и улучшения окружающей человека среды. В 1992 г. в Рио-де-Жанейро прошла конференция ООН по окружающей среде и устойчивому развитию мировых экономик. Согласно решениям конференции каждая страна должна будет снизить потребление невозобновляемых материальных и энергетических ресурсов. Особое внимание при этом было обращено, с одной стороны, на экономию ископаемых ресурсов, а с другой стороны — на увеличение доли использования возобновляемых

ресурсов. Следующим шагом в развитии конвенции ООН об изменении климата, принятой в 1992 г., становится международное соглашение, получившее название Киотский протокол. Основная цель данного соглашения — стабилизация уровня концентрации парниковых газов в атмосфере на уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему планеты. Действующие современные требования, регулирующие меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 г., были подписаны в 2016 г. в Париже.

Цель и постановка задачи исследования

Цель исследования заключается в поиске и разработке новых подходов в проектировании жилых зданий. Для выявления методов формирования современного жилища предлагается сконцентрировать внимание на оценке полного жизненного цикла здания как основы для повышения его экологических качеств. Как одно из перспективных направлений реализации поставленной цели предлагается рассмотреть метод энергетического анализа. Для этого необходимо сформулировать новые критерии оценки и последующего применения технологий производства строительных материалов, технологий возведения жилых зданий, планировочных решений и приемов формообразования жилых домов и комплексов, систем коммунального обслуживания.

На основании проведенного анализа экологических норм и стандартов предполагается разработать модель сравнительного анализа суммарных потоков энергии, обеспечивающих формирование и функционирование технологической энергосистемы жилища. В построенной модели предлагается рассматривать современное жилище как системный объект жизнедеятельности человека, включающий в себя подсистемы микроклимата жилища, архитектурной формы, микроклимата открытых пространств.

Основная часть

Исследования в области сохранения окружающей среды показывают, что на сегодняшний день в мире особенно остро стоит вопрос, связанный с необходимостью сокращения выбросов CO₂ в атмосферу. Европейская комиссия поставила цель снизить выбросы CO₂ в строительном секторе до 2050 г. на 90 % [1]. На долю строительной отрасли приходится до 30 % годовых выбросов парниковых газов, что делает ее одним из 7 основных источников процесса усиления эффекта глобального потепления [2, 3].

По данным на 2018 г. Россия входит в число стран — лидеров по выбросам парниковых газов и занимает 4-е место после Китая, США и Индии [4]. По данным исследования американского совета ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy) Россия занимает последнее место по рациональному использованию энергии [5]. Причиной такого низкого рейтинга России может служить большой износ жилого фонда вследствие возраста зданий. Потеря тепла в таких домах достигает 80 %. Одна из основных причин большого расхода энергии — потери через ограждающие конструкции — порядка 40 % тепла [6]. Исходя из анализа международных соглашений и отечественных законодательных актов, можно сделать вывод о том, что сохранение энергии является важной задачей, направленной не только на экономию средств, но и на поддержание мировой экологии.

Тенденция повышения энергоэффективности зданий с течением времени набирает свою популярность во многих странах мира, в т. ч. и в Российской

Федерации. В РФ издан федеральный закон № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», где прописан вопрос о снижении теплотребления ежегодно на 3 %¹.

Учитывая растущий интерес к устойчивому развитию во всем мире, в последние годы создано множество рейтинговых систем для оценки воздействия зданий на окружающую среду, каждая из которых имеет свои особенности и области применения. Важным условием внедрения этих систем в практику формирования энергоэффективного жилища становится оценка жизненного цикла зданий.

Оценка жизненного цикла — это инструмент для оценки воздействия на окружающую среду и оценки ресурсов, используемых на протяжении всего жизненного цикла продукта, от приобретения сырья, этапов производства и использования до утилизации отходов [7, 8].

Сравнительным анализом методов экологической оценки занимались многие исследователи [9—12]. Результатом стали рейтинговые системы оценки объектов строительства, предоставившие механизм для мониторинга зданий и сооружений на их соответствие критериям устойчивости среды. Наибольшую популярность приобрели 3 международных рейтинговые системы: американская LEED, британская BREEAM и немецкая DGNB.

В России начиная с 2010 г. разрабатываются отечественные нормативные документы и рейтинговые системы оценки устойчивости зданий и сооружений. Набор российских «зеленых» стандартов включает следующие документы:

- 1) ГОСТ Р 54964—2012. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости;
- 2) СТО НОСТРОЙ 2.35-4—2011. Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания;
- 3) СТО НОСТРОЙ 2.35.68—2012. Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания [13, 14].

Значительная часть энергоресурсов, используемых для функционирования современных городов, поступает в жилищно-коммунальный сектор экономики. Для поддержания комфортных микроклиматических условий в жилых зданиях требуется потреблять до 40 % производимой энергии. Оценивая сложившуюся ситуацию, можно сказать, что энергетический аспект развития жилищно-коммунального сектора выходит на первый план. Практика жилищного строительства нескольких десятилетий показывает, что реализация государственных программ, строительных норм и стандартов осуществляется, главным образом, за счет улучшения теплотехнических параметров ограждающих конструкций.

Основная цель реализации программ повышения энергоэффективности жилых зданий и застройки — довести удельный расход тепловой энергии зданий в среднем до 30...35кВт·ч/м², т. е. до уровня лучших мировых значений. Казалось бы, решение найдено и его следует повсеместно внедрять в

¹ Федеральный закон от 23.11.2009 № 261 ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1511>.

практику жилищного строительства. Однако существует и другой взгляд на эту стратегию [15]. В своих исследованиях В. К. Савин утверждает, что данную стратегию, в которой в качестве основного критерия энергоэффективности используется показатель удельного расхода тепловой энергии при эксплуатации зданий, нельзя признать прогрессивной. Он пишет: «Увеличивая теплозащиту здания и получая при его эксплуатации небольшую экономию тепла, мы делаем огромные затраты на создание оболочки здания. Теоретически, воздвигая один дом с теплозащитой „плюс бесконечность“, мы все ресурсы в стране израсходуем на его строительство» [16]. Решение проблемы следует искать в развитии и применении экологических технологий при возведении и эксплуатации жилых зданий и комплексов. Новые технологические решения должны быть увязаны с единой системой оценки жизненного цикла здания. Все взаимосвязанные между собой этапы жилищного строительства, начиная от добычи полезных ископаемых, необходимых для производства строительных материалов и конструкций, возведения и эксплуатации зданий, и заканчивая утилизацией после демонтажа, должны будут соответствовать новым критериям оценки их соответствия экологическим стандартам качества. Основу реализации данной стратегии может составить метод энергетического анализа.

Метод энергетического анализа широко освещен и проанализирован на различных моделях в работах [17, 18]. В этих исследованиях предлагается использовать новый подход к энергетическим проблемам. В отличие от методов экономического анализа, основанных на комплексной оценке денежных затрат и полученной прибыли, данная концепция предполагает рассмотреть возможность введения новой единицы расчета эффективности производства. Такой унифицированной и системообразующей единицей измерения может стать кВт·ч.

Анализируя результаты исследований [17, 18], можно предположить, что одним из основных количественных критериев выбора технологической энергосистемы строительства и эксплуатации современного жилища в будущем может стать энергия полного жизненного цикла здания. Технологическая энергосистема жилища должна будет включать в себя такие затраты, как затраты энергии на добычу сырья для строительных материалов и их производство, строительство зданий и их последующую эксплуатацию, демонтаж и вторичное использование строительных материалов. Таким образом, цена энергии становится ценообразующим фактором для формирования различных типов городского жилища.

Учитывая принципы устойчивого развития и современные экономические и экологические условия развития регионов и городов РФ, предлагается в качестве одного из способов экологической оценки городского жилища использовать комплексный метод энергетической оценки технологической энергосистемы жилища. Он предполагает проведение сравнительного анализа суммарных потоков энергии, обеспечивающих формирование и функционирование энергосистемы жилища на протяжении всего жизненного цикла (рис. 1, 2).

Рассматривая современное жилище как системный объект жизнедеятельности человека, включающий в себя подсистемы *микроклимата жилища, архитектурной формы, микроклимата открытых пространств,*

предлагается оценивать качество этих подсистем, сравнивая суммарные потоки энергии, поступающие на обеспечение строительных и функциональных процессов [15].

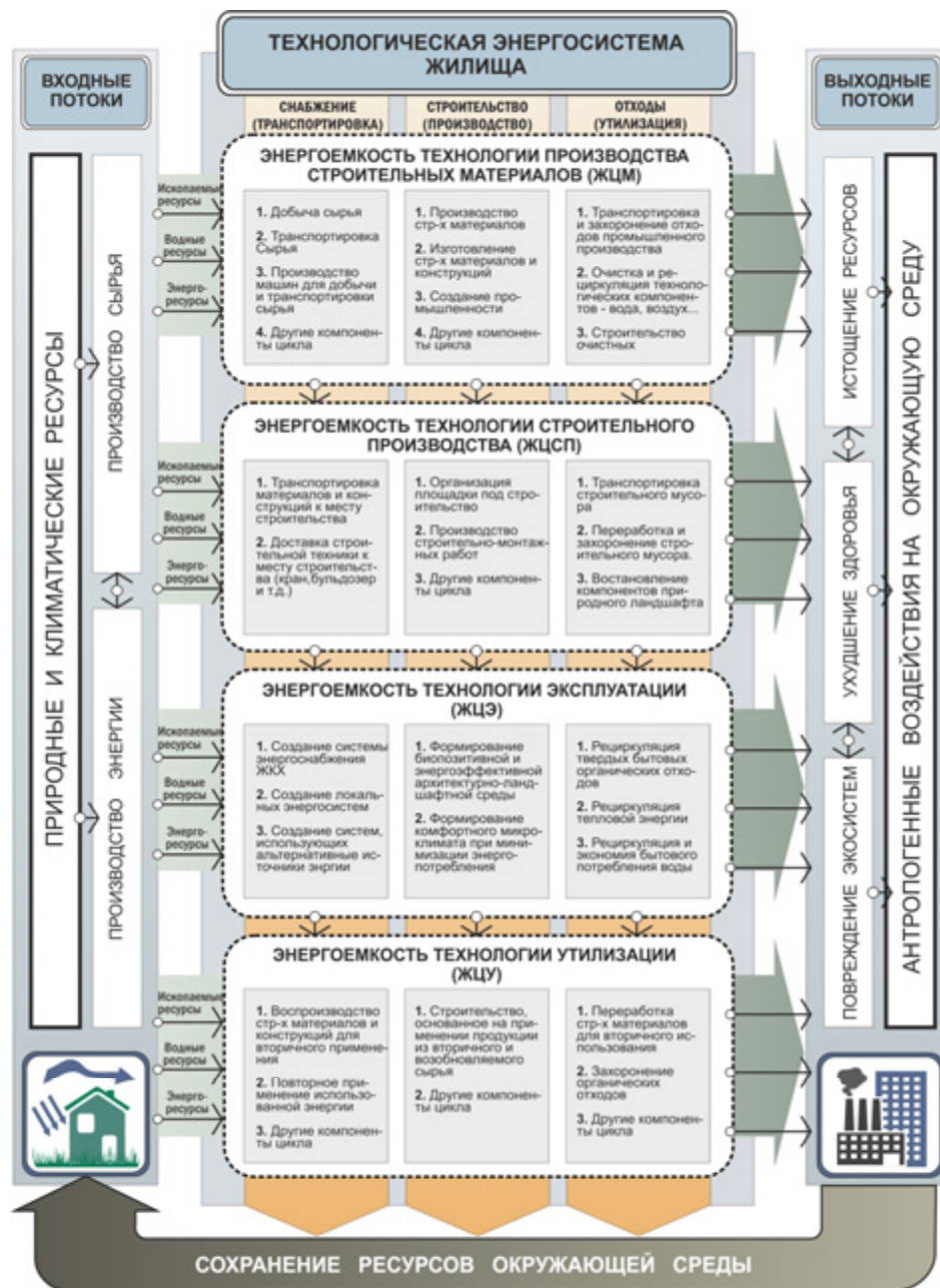


Рис. 1. Оценка жизненного цикла здания при формировании технологической энергосистемы жилища

Подсистема архитектурной формы. Уровень формирования подсистемы архитектурной формы является определяющим при рассмотрении

технологической энергосистемы жилища, т. к. затрагивает наиболее энергоёмкий этап строительства.

На этом этапе строительства следует учитывать весь цикл применения строительных материалов, начиная от добычи, производства, транспортировки, монтажа, демонтажа и заканчивая утилизацией. При этом следует соблюдать несколько главных условий.

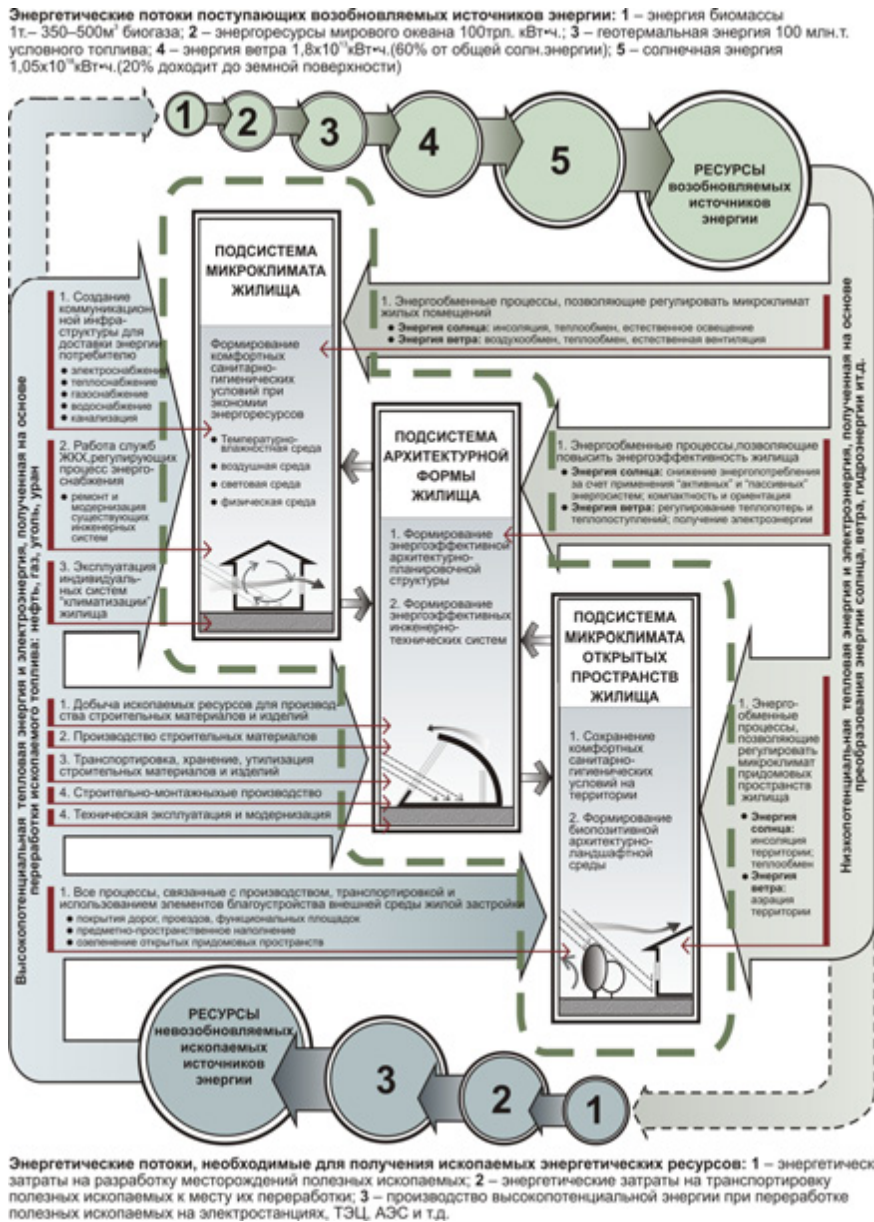


Рис. 2. Модель сравнительного анализа суммарных потоков энергии, обеспечивающих формирование и функционирование технологической энергосистемы жилища

Первое условие касается задач, связанных с решением вопросов минимизации энергозатрат на протяжении всего жизненного цикла применения строительных материалов. Если в жилищном строительстве предполагается использовать материал с высокими энергозатратами его производства, то следует рассмотреть все возможные способы его эффективной работы в процессе эксплуатации.

Второе условие связано с переработкой и вторичным использованием строительных материалов и конструкций.

Третье условие использования строительных материалов следует отнести к вопросам снижения вредного воздействия на окружающую среду. Особенно остро встает проблема снижения выделений токсичных веществ в атмосферу.

Практика использования различных строительных технологий в жилищном строительстве показывает, что эффективность применения строительных материалов и конструкций при формировании подсистемы архитектурной формы во многом будет зависеть от разработанного архитектурно-планировочного решения и применяемых инженерно-технических систем.

Создание архитектурной формы как объекта энергопотребления подразумевает слияние двух взаимосвязанных между собой энергетических потоков, требующих всесторонней оценки и учета:

- 1) энергетические потоки, необходимые для создания энергоэффективной формы здания;
- 2) энергетические потоки, которые необходимо учитывать для достижения оптимального энергетического обмена между внутренней искусственной средой жилища и природно-климатической составляющими окружающей среды (природный ландшафт, солнечная радиация, ветер и т. д.).

Создание энергоэффективной формы жилого здания достигается за счет повышения его теплотехнических характеристик. Можно выделить 2 направления повышения тепловой эффективности здания.

Первое основано на применении принципа компактности здания. Повышая компактность, здания можно уменьшить площадь ограждающих конструкций и тем самым снизить теплопотери.

Второе направление предполагает оптимизацию планировочной структуры жилого здания для достижения благоприятных условий теплообмена между внутренней средой жилых помещений и внешним природным окружением. Терморегуляция жилого здания осуществляется путем применения принципа теплового зонирования жилого пространства.

При создании подсистемы архитектурной формы энергетические потоки следует учитывать не только для снижения затрат энергии, получаемой от переработки ископаемого топлива, но и за счет правильного учета и эффективного использования энергетических потоков, поступающих от возобновляемых источников энергии, таких как солнце, ветер. Современные технологии, направленные на экологическое развитие сферы жилищного строительства, позволяют утверждать, что успех их применения зависит от мониторинга природно-климатических факторов региона строительства. В этих условиях архитектурно-планировочная структура здания, инженерно-технические системы и факторы воздействия природно-климатической среды должны работать как единый слаженный организм, позволяющий достигать

оптимальных результатов в стратегии экономичного потребления энергоресурсов.

Подсистема архитектурной формы в значительной степени определяет качественное состояние двух других подсистем жилища — микроклимата жилых помещений и открытых придомовых пространств.

Подсистема микроклимата жилища оказывается наиболее энергоемкой. Связано это с тем, что для поддержания комфортных условий в современном жилище необходимы энергоресурсы высокопотенциальных энергосистем, полученных на основе переработки ископаемого топлива — нефти, газа, угля и т. д. Стоимость этих ресурсов с каждым годом растет. Несмотря на популярность зеленых технологий и широкого их внедрения во многих странах мира, удовлетворить растущий спрос на дешевую энергию эти технологии пока не в состоянии. Однако развитие подобных технологий сегодня и в будущем необходимо, т. к. грамотный комплексный подход в применении природных ресурсов окружающей среды в сочетании с технологическими возможностями инженерно-технических систем позволяет уже сегодня добиваться высоких показателей в деле энергосбережения.

Подсистема микроклимата открытых пространств жилища сегодня наименее эффективна в плане оценки тех энергетических потоков, которые должны влиять на результаты деятельности жилищно-коммунального сектора экономики. Открытые пространства жилой застройки многих городов России находятся в плачевном состоянии и требуют значительных энергетических затрат на поддержании их в комфортном состоянии. При формировании данной подсистемы можно выделить несколько энергетических потоков:

- энергетические потоки, направляемые на благоустройство внешней среды жилой застройки:

- а) дороги, проезды, покрытие для площадок различного назначения,
- б) предметно-пространственное наполнение,
- в) система озеленения,
- г) система освещения;

- энергетические потоки, которые улучшают экологическое состояние открытых пространств жилой застройки за счет получения, перераспределения и сохранения природных возобновляемых ресурсов, таких как солнечная энергия, энергия ветра, дождевая вода.

При формировании многоуровневых сложных систем, к которым следует относить технологическую энергосистему жилища, используются разнообразные как возобновляемые, так и невозобновляемые природные ресурсы. Можно сказать, что экономическая безопасность и устойчивое развитие государств во многом будут определяться рациональным и экономичным потреблением природных ресурсов.

Построенная модель сравнительного анализа суммарных энергетических потоков, обеспечивающих жизнеспособность и безопасность технологической энергосистемы городского жилища, показывает, что практически все природные и энергетические ресурсы задействованы в процессе формирования этой системы. Значительная часть этих энергетических ресурсов может быть реализована за счет современных зеленых технологий, повышающих «биопозитивность» архитектурной среды жилых зданий и открытых пространств жилой застройки. К таким технологиям следует отнести все то,

что приближает процессы, связанные с формированием современного жилища, к биологическим природным циклам и процессам.

Выводы

1. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта выделены особенности оценки жизненного цикла зданий. Обязательным условием для успешного развития жилищной политики России должны стать отечественные экологические стандарты, нормы и законы, призванные создать условия для дальнейшего повышения экологических качеств современного жилища. Основу формирования этих качеств жилища должна определять оценка полного жизненного цикла здания от закупки сырья до демонтажа и размещения отходов.

2. Главным стимулом в развитии экологических технологий должны стать новые методы энергетического анализа. Для этого необходимо принять новые критерии оценок и выбора технологий производства строительных материалов, технологий возведения жилых зданий, планировочных решений и приемов формообразования жилых домов и комплексов, систем коммунального обслуживания.

3. Разработана модель сравнительного анализа суммарных потоков энергии, обеспечивающих формирование и функционирование технологической энергосистемы жилища. В построенной модели предлагается рассматривать современное жилище как системный объект жизнедеятельности человека, включающий в себя подсистемы *микроклимата жилища, архитектурной формы, микроклимата открытых пространств.*

Разработанная модель технологической энергосистемы жилища, основанная на оценке жизненного цикла здания, позволит изменить подходы и методы к формированию современного городского жилища. Методы энергетического анализа, применяемые в практике проектирования, строительства, эксплуатации и, в конечном итоге, демонтажа жилого здания, должны создать новые условия для развития отечественного жилищного строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vilches A., Martínez A. G., Montanes B. S. Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review // *Energy and Buildings*. 2017. No. 135. Pp. 286—301.
2. Крутилова М. О. Направления совершенствования экономических механизмов минимизации выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла здания // *Экономика строительства и природопользования*. 2018. № 1(66). С. 63—71.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4); IPCC: Cambridge, 2007. URL: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4>.
4. Сухина Е. А. Важность оценки жизненного цикла материалов в российских экологических стандартах для зданий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 1(86). С. 230—242.
5. Мошкова Е. А., Туева Т. В., Антончик Т. В., Егорова П. А. Сравнение теплотехнических характеристик различных ограждающих конструкций в натуральных условиях // *Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире*. 2015. № 91. С. 140—145.
6. Немова Д. В., Гареева Л. Г., Осетрова А. А. Сравнительная оценка ограждающих конструкций на протяжении жизненного цикла здания // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2019. № 9(84). С. 34—50.
7. Bernardi E., Carlucci S., Cornaro C., Bohne R. A. An analysis of the most adopted rating systems for assessing the environmental impact of buildings // *Sustainability*. 2017. No. 9. Pp. 12—26.
8. Recent developments in Life Cycle Assessment / G. Finnvedern, M. Z. Hauschild, T. Ekvall, J. Guinée, R. Heijungs, S. Hellweg, A. Koehler, D. Pennington, S. Suh // *Journal of Environmental Management*. 2009. No. 91. Pp. 1—21.

9. Turk S., Quintana S. N. S. A., Zhang X. Life-cycle analysis as an indicator for impact assessment in sustainable building certification systems: the case of Swedish building market // Energy Procedia. 2018. No. 153. Pp. 414—419.
10. Sartori Th., Drogemuller R., Omrani S., Lamari F. A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS) // Journal of Building Engineering. 2021. No. 38(1). DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102180.
11. Life cycle energy performances of a Net Zero Energy prefabricated building in Sicily / G. Tumminia, F. Guarino, S. Longo, M. Mistretta, M. Cellura, D. Aloisio, V. Antonucci // Energy Procedia. 2017. No. 140. Pp. 486—494.
12. Gustavsson L., Joelsson A. Life cycle primary energy analysis of residential buildings // Energy and Buildings. 2010. No 42. Pp. 210—220.
13. Черешнев И. В., Черешнева Н. В. Исследование методов архитектурно-экологического формообразования жилых зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 213—220.
14. Дмитриев А. Н., Ковалев И. Н., Табунчиков Ю. А., Шилкин Н. В. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. М.: Авок-Пресс, 2005. 120 с.
15. Черешнев И. В. Комплексный метод энергетического анализа экосистемы жилища // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3(24). С. 25—29.
16. Савин В. К. Три взгляда на энергосбережение // ACADEMIA. Архитектура и строительство 2007. № 3. С. 64—68.
17. Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы. М.: Прогресс, 1978. 379 с.
18. Савин В. К. Новые подходы к оценке энергосбережения и энергетической эффективности в строительной отрасли // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 241—245.

© Черешнев И. В., Черешнева Н. В., Черешнев Л. И., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Черешнев И. В., Черешнева Н. В., Черешнев Л. И. Оценка жизненного цикла здания как основа для создания модели технологической энергосистемы жилища // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 252—262.

Об авторах:

Черешнев Игорь Владимирович — канд. архитектуры, проф., проф. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; tchereshnev@rambler.ru

Черешнева Нурия Варисовна — доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

Черешнев Леонид Игоревич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

Igor' V. Chereshev, Nuriya V. Cheresheva, Leonid I. Chereshev

Volgograd State Technical University

BUILDING LIFE CYCLE ASSESSMENT AS THE BASIS FOR CREATING A MODEL OF THE TECHNOLOGICAL ENERGY SYSTEM OF THE DWELLING

The influence of modern urbanization on the state of the environment is considered. In the process of scientific research, based on the analysis of foreign and domestic experience, the features of assessing the life cycle of buildings are highlighted. The need for the application of new approach-

es in the design of residential buildings, the purpose of which is the need to improve the environmental qualities of a modern dwelling, is determined. The basis for the formation of these qualities of a dwelling should be determined by an assessment of the full life cycle of the building from the purchase of raw materials to dismantling and disposal of waste. To achieve the goals set, it is proposed to apply the methods of energy analysis. New criteria for evaluating and choosing technologies for the production of building materials, technologies for erecting residential buildings, planning solutions and methods for shaping residential buildings and complexes, and public service systems have been identified. Based on the analysis of environmental norms and standards, a model has been developed for a comparative analysis of the total energy flows that ensure the formation and functioning of the technological energy system of the dwelling. In the constructed model, it is proposed to consider a modern dwelling as a systemic object of human life, including subsystems of the microclimate of the dwelling, the architectural form, the microclimate of open spaces.

Key words: environmental standard, life cycle, energy analysis, energy system of the dwelling.

For citation:

Chereshnev I. V., Chereshneva N. V., Chereshnev L. I. [Building life cycle assessment as the basis for creating a model of the technological energy system of the dwelling]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 252—262.

About authors:

Igor' V. Chereshnev — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; tchereshnev@rambler.ru

Nuriya V. Chereshneva — Docent of Urban Development and Theory of Architecture Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia

Leonid I. Chereshnev — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia

УДК 721-021.22

Ю. Б. Колышев

Волгоградский государственный технический университет

РИСУНОК В АРХИТЕКТУРНОМ ОБРАЗОВАНИИ: ТЕОРЕТИКО-ПОНЯТИЙНЫЙ АСПЕКТ

В архитектурном образовании учебные программы подготовки по рисунку базируются на академическом рисунке. Исследована совокупность методов рисунка с архитектурной направленностью в качестве универсального комплекса — теоретико-понятийного аспекта. Рисунок с системой линейно-конструктивного познания формы изображаемого объекта способен развивать объемно-пространственное мышление будущих архитекторов и дизайнеров. Наличие теоретико-понятийной ориентации процесса рисования с натуры представляет широкий спектр возможностей, повышает эффективность работы студентов по представлению и воображению, что важно и востребовано в архитектурно-проектной деятельности и формирует тем самым конкурентоспособность молодого специалиста.

Ключевые слова: архитектурное образование, теоретико-понятийный аспект, комплексный метод, познание формы, представление, воображение, методы обучения, рисунок, композиция.

Введение

Современный этап развития системы образования Российской Федерации ставит целью достижение профессионального уровня подготовки будущих архитекторов и дизайнеров, ориентированных не только на усвоение определенных знаний и умений, но главное — на формирование компетенций, способствующих приобретению опыта архитектурно-творческой деятельности, конкурентоспособной реализации в современном мире.

Теоретико-понятийный аспект рассматривается в научном обосновании формируемых понятий «специфики» рисунка в архитектурном образовании с соответствующей ориентацией учебной изобразительной деятельности на современные методы и технологии.

Результаты эксперимента позволили установить отсутствие учета на должном уровне специфики рисунка архитектурной направленности. Студенты контрольной группы срисовывали только видимую часть формы объекта, обращенную к ним, не осознавая расположения всего объекта в пространстве, не достигая при этом единства в развитии представлений и воображения, являющегося важнейшим фактором обучения рисунку.

Актуальность изучения теоретико-понятийного аспекта рисунка в архитектурном образовании заключается в установлении объективных методов влияния на характер и результаты процесса подготовки архитектора.

Профессиональная культура исполнения, совершенство владения рисунком зависят от комплексного решения задач, связанных как с объективными, рациональными, так и с субъективными, эмоциональными сторонами познания и отражения действительности. В Московском архитектурном институте на кафедре рисунка профессор С. В. Тихонов [1] внедрил, учитывая специфику творческой деятельности архитектора, комплексный метод познания,

исключающий поверхностное внешнее копирование природы, способствующий отражению не только конструктивных, созидательных законов природы, но и ее красоты и гармонии.

В Санкт-Петербургской Академии художеств (Институт живописи, скульптуры и архитектуры им. И. Е. Репина), взрастившей многих знаменитых российских живописцев, ваятелей и зодчих, на кафедре архитектурного проектирования профессор, доктор архитектуры А. А. Гавричков, известный трудами «Роль рисунка в творчестве архитектора» [2], «Архитектурная графика России XIX—XX вв.», проводил исследования изображения архитектурных форм и пространств по воображению.

Профессор Московского архитектурного института З. В. Жилкина, исследуя проблемы в работе «Рисунок в архитектурном образовании» [3], формирует и развивает интерес студентов к рисунку, к быстрым зарисовкам и эскизам, к балансу наблюдения и воображения, рекомендуя более активно разнообразить материал для рисования. Смена условий учит концентрации внимания, в конечном счете приводит к повышению качества выполняемой работы. Развитие представлений и воображения в процессе исполнения рисунка и есть самая важная составляющая учебного процесса.

В свою очередь автором также исследовались пути решения этих задач в работе «Проблемы изображения архитектурных форм и пространств» [4].

Значение познания историко-культурного наследия родного края в художественной подготовке архитектора трудно переоценить, в этой учебной ситуации развивается архитектурное мышление, формируются умения графического выражения замыслов возрождения среды обитания, а также создания современных объектов архитектуры с нравственным отношением к природному ландшафту и народным традициям [5].

Анализ реализуемых перспективных методик и передового опыта позволил сформулировать *гипотезу* исследования: обеспечение теоретико-понятийной ориентации учебного процесса рисования с природы повысит эффективность работы будущего архитектора по представлению и воображению, следствием станет развитие спектра возможностей подготовки конкурентоспособного специалиста к архитектурно-проектной деятельности.

Предмет проводимых исследований:

- значение теоретико-понятийного аспекта в обучении рисунку с архитектурной направленностью;
- достижение единства в развитии представлений и воображения;
- специфика рисунка в художественной подготовке будущих архитекторов и дизайнеров: «смотри насквозь», взаимодействие несущих и несомых конструкций, минимум средств — максимум выражения.

Методы обучения рисунку

Метод дедукции — от общего к частному, от комплексной направленности, ориентировки учебного процесса до усвоения определенных знаний и умений. При рисовании с природы необходимо знать условия перспективной ситуации: точка зрения, положение картинной плоскости и опыт изобразительной деятельности (наблюдать, изучать, представлять и воображать объект с учетом специфики рисунка, рис. 1).

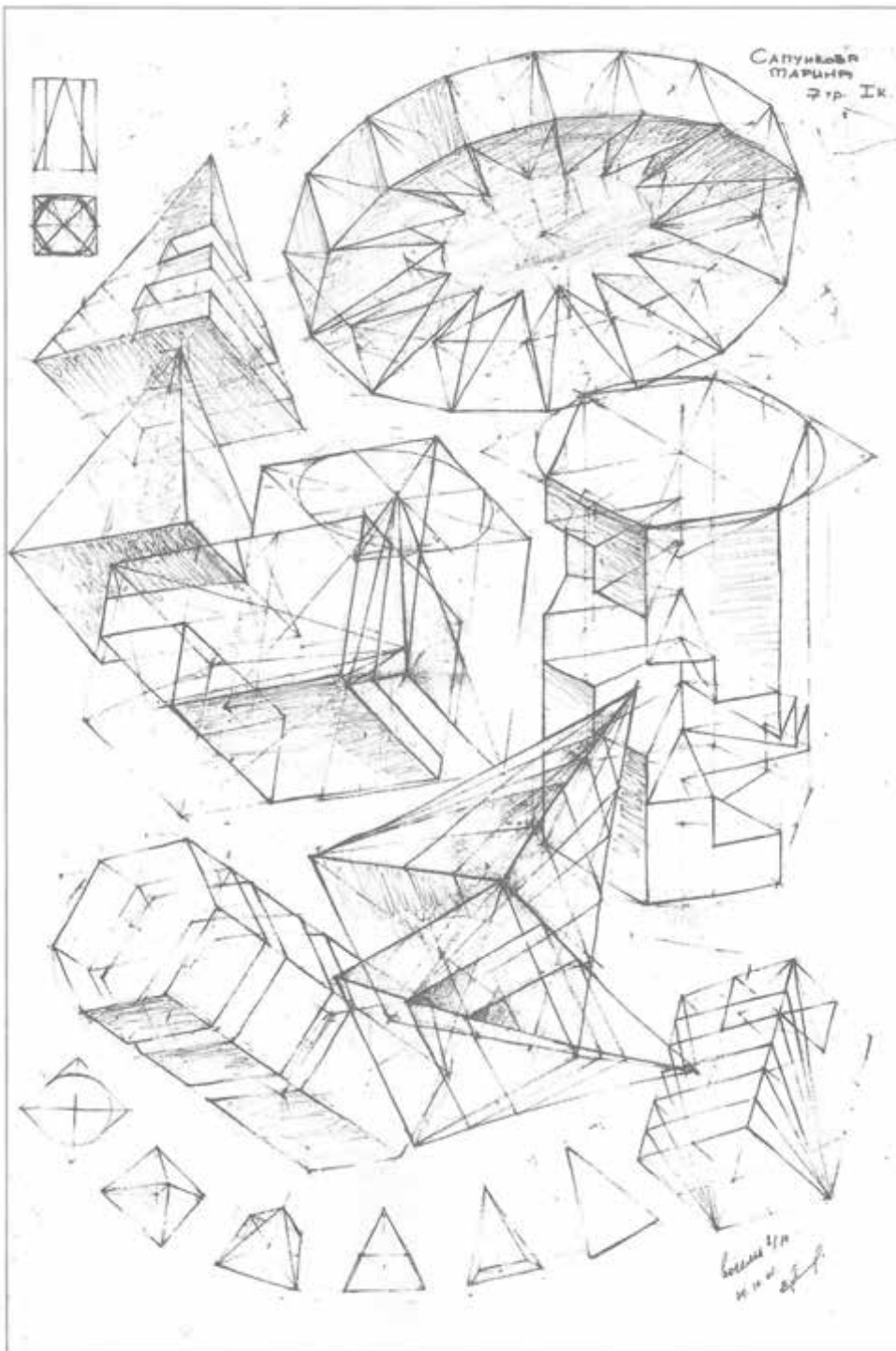


Рис. 1. Совмещение работы с натуры и по представлению

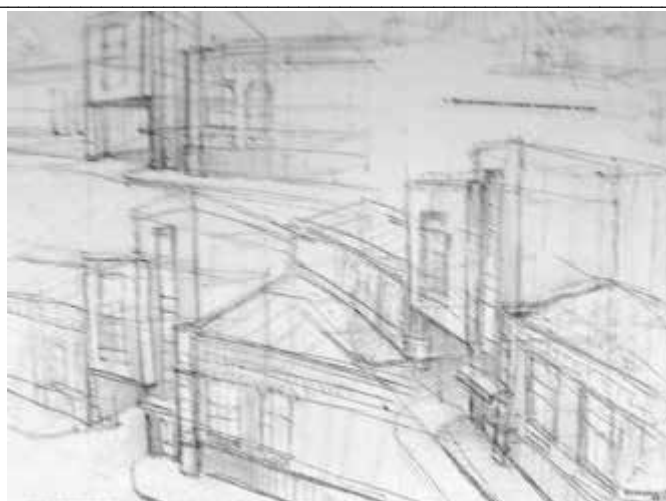
Комплексный метод познания в рисунке по С. В. Тихонову (МАрхИ, подчеркивается авторство основателей данного метода — мастера Возрождения Леонардо да Винчи, Альбрехта Дюрера и др.) заключается в научном исследовании основных законов строения формы изображаемого объекта, в постоянном совмещении работы с натуры и по представлению, требует активного участия сознания, логического мышления [1]. Суть метода выражается в следующем:

- при зрительном знакомстве с объектом изучаются и зарисовываются «исходные виды» спереди, сверху, сбоку, сзади (осознание пропорций изображаемых форм);
- далее при поиске выразительной точки зрения с целью создания эскиза объект зарисовывается в перспективных ракурсах;
- при анализе строения формы осознается функция и исследуются вопросы инженерии, взаимодействия несущих и несомых конструктивных элементов с целью передачи в рисунке единства связи внешней пластики и внутренней пространственной структуры объекта;
- изучение развития, модификации формы во времени также влияет на полноценность конструктивной характеристики изображаемого архитектурного сооружения;
- важно выразить в рисунке чувство красоты объекта, передать условия освещения, фактуру материала, подобрать для этого соответствующий стиль, «дух» графического языка.

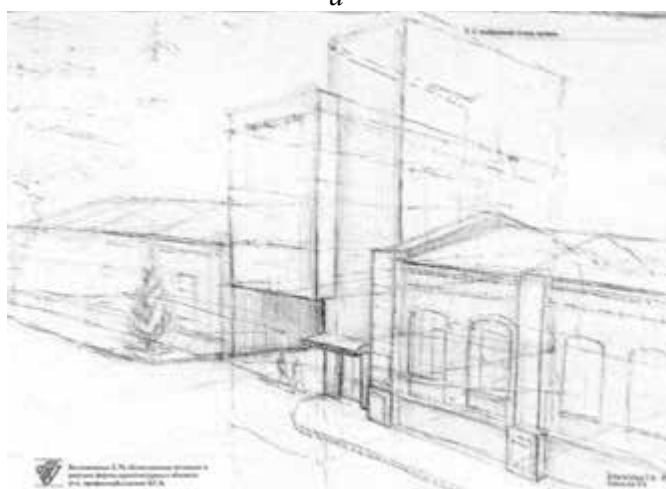
Комплексный метод рисунка ориентирует студентов на познавательный, исследовательский характер работы, исключает возможность поверхностного, внешнего рисования натуры, создает оптимальные условия для параллельного исследования метода архитектурного проектирования (рис. 2).

Метод показа предполагает индивидуальную работу с каждым студентом, в результате которой реализуется художественная подготовка будущих архитекторов и дизайнеров. Процесс научного руководства студенческой изобразительной деятельностью неразрывно связан как с содержанием (что рисовать), так и с методологией обучения (как рисовать, как изучать), которые необходимо должным образом позиционировать в учебно-методических и программных материалах по рисунку. Методическое обоснование учебных задач способствует поэтапному формированию профессиональных качеств, необходимых в архитектурно-художественной самостоятельной работе. Успех в достижении этой цели, несомненно, зависит от научной и творческой устремленности как педагога, так и студентов (рис. 3). Важно использовать теоретико-понятийный аспект таких учебных дисциплин, как история искусства и архитектуры, начертательная геометрия, строительные конструкции и др. При использовании науки в единстве с искусством искусство становится наукой [6—8].

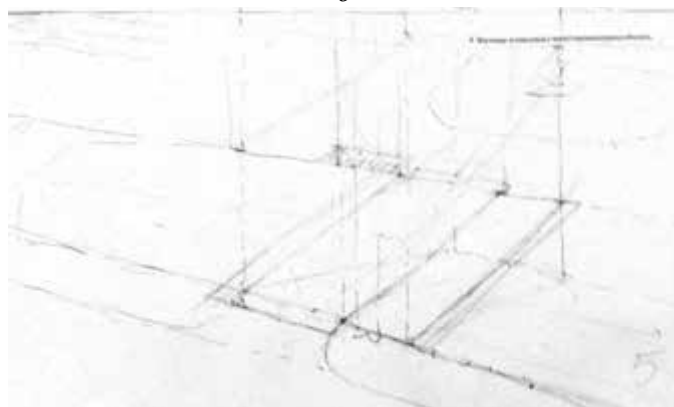
Метод рисунка архитектурных объектов по воображению обогащает процесс рисования архитектурных объектов свободой авторской фантазии, эмоциональным предвосхищением наглядной проверки архитектурного замысла [4]. В связи с этим важно точнее придерживаться соотношений размеров ракурсных (перспективных) и исходных (натуральных): плана, фасада и разрезов проектируемого объекта.



a



b



v

Рис. 2. Комплексное познание формы архитектурного сооружения: *a* — зарисовки архитектурного сооружения в различных ракурсах; *b* — анализ формы изображаемого сооружения; *v* — изображение плана архитектурного сооружения (вид сверху во взаимосвязи с его пространственной структурой)

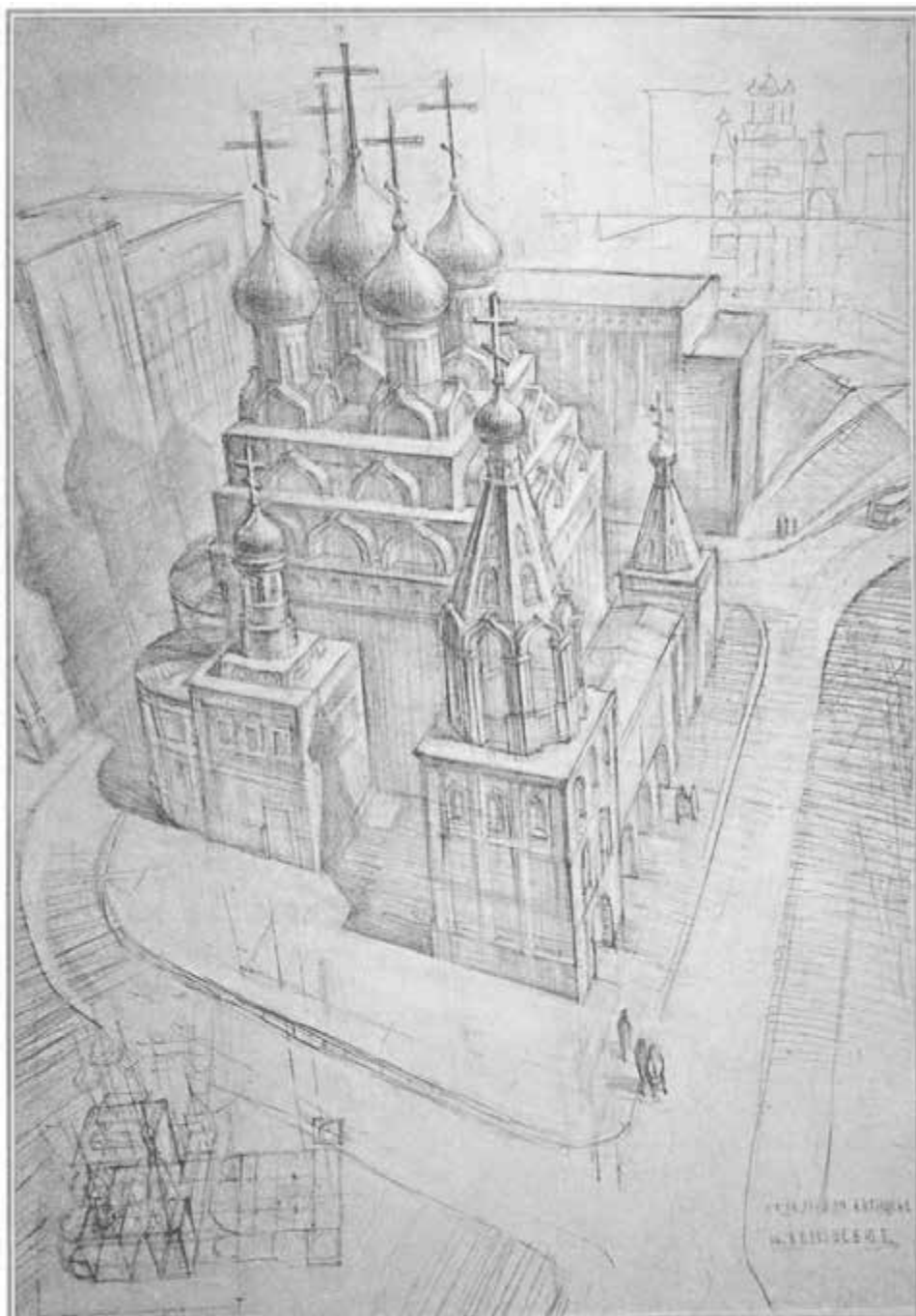
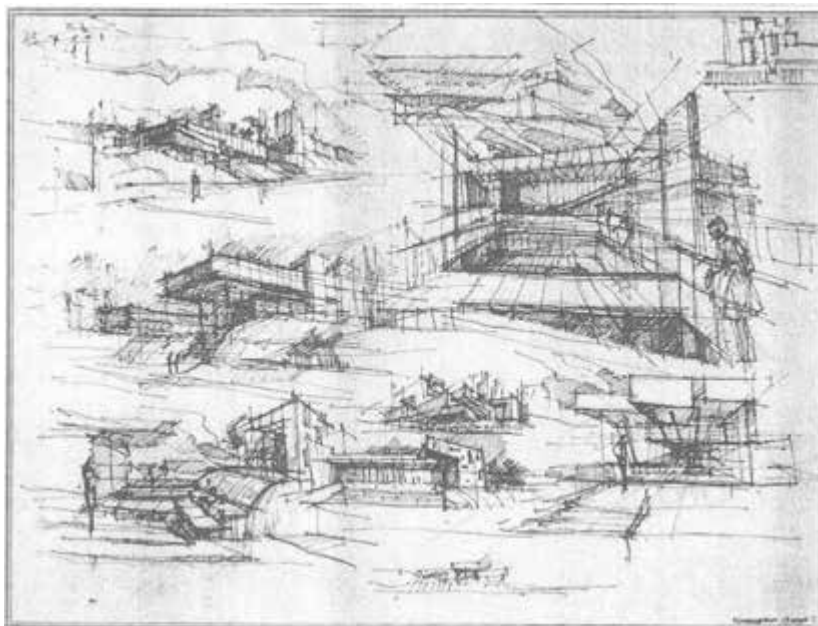


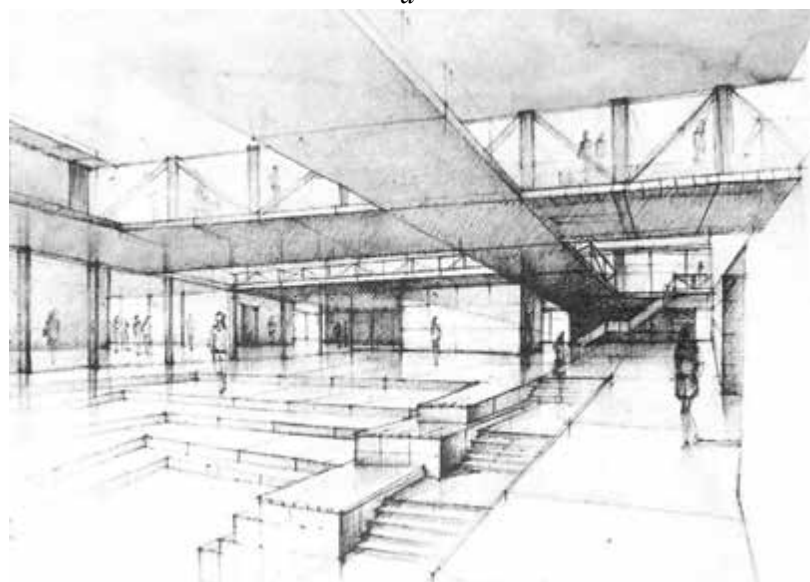
Рис. 3. Храм Святой Троицы в Никитниках (работа по представлению)

Часто у студентов, не придающих должного внимания указанным соотношениям размеров, происходит несоответствие изображения архитектурному замыслу. «Автор средствами рисунка не только проверяет логику своих мыслей, заложенных в проект, но и доказывает правоту идеи сооружения, доносит свою мысль до широкого круга зрителей» [2].

При рисовании по воображению своих сочинений от зарождения первичной идеи до окончательного исполнения проекта студенты воспроизводят создаваемый в своем сознании образ проектируемого объекта, воображают, организуют его внутреннее пространство с учетом художественной пластики его архитектурных форм, цвета, фактуры строительных материалов, т. е. вынашивают, создают архитектурное сооружение от самого простого общего объема до всех его функциональных и эстетических звучаний (рис. 4).



a



b

Рис. 4. Проект архитектурного сооружения (работа по воображению):
a — наброски к теме проекта; *b* — рисунок проекта

Во время всеобщей цифровизации современный студент считает, что не обязательно прилагать лишние усердия в рисунке, что при помощи компьютерных технологий, искусственного интеллекта можно решить многие изобразительные задачи. Такой подход не позволяет студенту осознать познавательную роль рисунка в формировании умений и навыков видения красоты природы, анализа и осмысления принципов формообразования (конструкции, ее устройства, взаимодействия элементов, функции и пр.). Изобразительный опыт позволяет рассуждать, делать выводы и создавать новое при помощи современных цифровых технологий и инструментов, способствующих реализации, интерпретации и творческому преобразованию проектируемых архитектурных объектов [8].

Выбор методов изображения архитектурных объектов с натуры, по представлению и воображению

Исследование методов рисунка с натуры, по представлению и воображению выявило степень важности каждого из них. Чем глубже рисующий, знакомясь с природой, проникает в законы ее красоты и гармонии, тем совершенней будут его образы и тем оригинальнее будут проекты, созданные им [6].

Анализ тенденций развития рисунка будущих архитекторов и дизайнеров позволил определить варианты решения проблем объемного моделирования пространства на основе комплекса знаний аксонометрических, ортогональных и перспективных проекций. Проведенные эксперименты подтверждают выявленные недостатки «правильного» срисовывания с натуры внешней части формы объекта [9].

Методика рисунка с архитектурной направленностью имеет преимущество благодаря способности развивать у студентов объемно-пространственное мышление. Кроме того, теоретико-понятийный аспект включает в себя совокупность методов рисунка, изложенных в исследованиях [3, 8, 9], позволяет оценивать в целом не только качество приобретаемого изобразительного опыта, но и формировать у обучающихся чувство потребности самооценки своих профессиональных возможностей.

Значение теоретико-понятийного аспекта

Новизна исследования заключается в непосредственном подходе студентов к осознанию специфики рисунка будущего архитектора и дизайнера в процессе учебной изобразительной деятельности, например при изучении законов формообразования — повторяемость, соподчинение, соразмерность, уравновешенность, единство способов сочетания пространств — отстоящие друг от друга, соприкасающиеся, находящиеся одно в другом и др. При наличии теоретико-понятийного отношения к учебному процессу у студентов повышается профессиональный интерес к дисциплине «Рисунок» и, соответственно, качество учебных работ.

Результаты проводимых исследований специфики архитектурного рисунка показывают, что именно профессиональная ориентация формирует и развивает интерес обучающихся к рисунку. Особо ценны быстрые и сверхбыстрые изображения (наброски, зарисовки) проектируемого объекта, соответствующие архитектурному замыслу, творческой идее. Согласно Ле Корбюзье, автор проекта наглядно определяет взаимосвязь между архитектурой и рисунком, мыслит конструкциями, раскрывает функцию, красоту и образность пространства жизнедеятельности человека [10].

Условия использования на практике усвоенных профессиональных знаний, умений и навыков зависят от степени инициативности студента в работе. Теоретико-понятийный аспект способствует развитию потенциала художественной подготовки студентов, их аналитического мышления, умения наглядно выражать свои замыслы на бумаге, передавать суть организации среды обитания, донесения архитектурной идеи до заказчика, т. е. профессиональных качеств, так необходимых в архитектурном проектировании.

Соответствие результата исследования гипотезе

Анализ выполненных исследований показывает, что обеспечение теоретико-понятийной ориентации учебного процесса с опорой на совокупность методов архитектурной направленности рисования с натуры обладает преимуществами перед традиционным методом академического рисунка, а также формирует объективный потенциал увеличения результативности работы будущего архитектора по представлению и воображению, т. к. обеспечивает полноту понимания объемного моделирования пространства на основе знаний и учета закономерностей аксонометрического, ортогонального и перспективного проецирования.

Познавательный интерес, грамотность в учебной изобразительной деятельности обогащают потенциал возможностей, характера и результатов обучения архитекторов и дизайнеров. Методическое обоснование учебных задач способствует формированию профессиональных качеств будущего специалиста, а успех в достижении этой цели зависит от научной и творческой ориентации учебного процесса.

Результаты участия студенческих работ ИАиС ВолгГТУ в международных и всероссийских конкурсах архитектурного рисунка:

- Екатеринбург, 2001—2003 гг.: 5 дипломов I—III степени [11];
- Казань, 2005—2007 гг.: 10 дипломов I—III степени [10];
- Новосибирск, 2009—2012 гг.: 12 дипломов I—III степени [7];
- Ростов-на-Дону, 2016—2022 гг.: 18 дипломов I—III степени.

Заключение

Изучение академического рисунка с учетом профессиональной специфики архитектурного образования и теоретико-понятийного аспекта построения учебных программ по рисунку способствует повышению эффективности формирования познавательного интереса к изобразительным задачам, а также подготовки конкурентоспособной творческой личности архитектора и дизайнера, обладающего комплексом профессиональных компетенций, позволяющих объединять грани познания в отражениях объективной действительности. Подтверждены недостатки метода «правильного» срисовывания внешней части архитектурного объекта. Установлено, что исследование архитектурных объектов с опорой на методы рисования с натуры формирует у студентов потребность самооценки своих профессиональных компетенций и позволяет в целом оценить качество приобретаемого изобразительного опыта. Архитектурный рисунок, рассматриваемый с позиций системного конструктивного познания формы изображаемого объекта, способен эффективно развивать образное мышление, логично подводить студентов к реализации работ по представлению и воображению, что актуально и востребовано в архитектурно-проектной деятельности. Важно отметить целесообразность

сохранения и развития реалистических традиций направления художественной подготовки архитекторов и дизайнеров. Ответственное отношение к самостоятельной работе с натуры, по представлению и воображению, к приобретению изобразительного опыта вдохновляет будущих специалистов на поиски оригинальных решений моделирования и формообразования объектов архитектурной среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов С. В., Демьянов В. Т., Подрезков В. Б. Рисунок : учеб. пособие для вузов. М. : Стройиздат, 2001. 294 с.
2. Гавричков А. А. Рисунок в процессе архитектурного проектирования : автореф. дисс... канд. арх. Л. : Ин-т живописи, скульптуры и архитектуры им. И. Е. Репина, 1971. 27 с.
3. Жилкина З. В. Развивающая роль архитектурного рисунка // Совершенствование методов обучения рисунку в архитектурно-художественном образовании: материалы 5-й Международной науч.-метод. конф. 2009. Новосибирск : НГАХА, 2010. С. 51—52.
4. Колышев Ю. Б. Рисунок архитектурных форм и пространств : учеб. пособие. Волгоград : ВолгГАСУ, 1997. 112 с.
5. Колышев Ю. Б., Соколов И. И., Колышева Д. О. Значение познания историко-культурного наследия родного края в художественной подготовке будущего архитектора // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(60). С. 249—261.
6. Чиняков А. Г. Братья Веснины. М. : Стройиздат, 1970. 179 с.
7. Fellows R. A. Sir Reginald Blomfield. An Edwardian architect. London, 1985. 182 p.
8. Salesses P., Schechtner K., Hidalgo C. A. The Collaborative Image of The City: Mapping the Inequality of Urban Perception // PLOS ONE. 2013. Vol. 8. No. 7. 12 p.
9. Колышев Ю. Б., Колышева Г. В. Решение проблем взаимосвязей довузовского и вузовского этапов обучения архитектурному рисунку // Новые идеи нового века : материалы 15-й международной конф. : в 3 тт. Т. 2. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2015. С. 382—384.
10. Le Corbusier. L'Atelier de la recherche patiente, 1960. Paris : Vincent Fréal, 1960.
11. Иванов А. Архитектурный рисунок. Каталог VIII-IX Международного конкурса архитектурного рисунка. URL: https://sfedu.ru/www/gallery.gallery_show?p_phg_id=40181.

© Колышев Ю. Б., 2023

Поступила в редакцию
в июне 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Колышев Ю. Б. Рисунок в архитектурном образовании: теоретико-понятийный аспект // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 263—273.

Об авторе:

Колышев Юрий Богданович — проф., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Yurii B. Kolyshev

Volgograd State Technical University

DRAWING IN ARCHITECTURAL EDUCATION: THEORETICAL AND CONCEPTUAL ASPECT

In architectural education, drawing training programs are based on academic drawing. The author of the article investigates a set of drawing methods with an architectural orientation as a universal complex: a theoretical and conceptual aspect. Drawing with a system of linear-constructive cognition of the shape of the depicted object is able to develop the three-dimensional thinking of future

architects and designers. The presence of a theoretical and conceptual orientation of the process of drawing from nature presents a wide range of opportunities, increases the efficiency of students' work on representation and imagination, which is very important and in demand in architectural and design activities, thereby forming the competitiveness of a young specialist.

Key words: architectural education, theoretical and conceptual aspect, complex method, cognition of form, representation, imagination, teaching methods, drawing, composition.

For citation:

Kolyshev Yu. B. [Drawing in architectural education: theoretical and conceptual aspect]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 3-4, pp. 263—273.

About author:

Yurii B. Kolyshev — Prof., Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» *включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-otformleniyu/>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-otformleniyu/>), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале, а рецензия, кроме того, в отсканированном виде.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: ORCID, ScopusID (при наличии); *индекс УДК*; на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи завершается личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — 8—12 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office (Word 2003)*; шрифт *основного текста* — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip, WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Сур) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *библиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится *только* цитируемая в статье литература. Редколлегией приветствуется цитирование журнала. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке

упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Cyr) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников. Анонимные источники (законы, СНиПы, ГОСТы, интернет-сайты и т.п.) приводятся в подстрочной ссылке. Нумерация подстрочных ссылок статьи — сквозная.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав. Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи направляются редакцией на дополнительную экспертизу (рецензирование) и публикуются только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору по требованию.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректурa статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГТУ <http://vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/sia> (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, 715а (ответственный секретарь журнала Растяпина Оксана Анатольевна) vestnik_volgasy@mail.ru

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно у нее же.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343

Уважаемые читатели и авторы!
С марта 2019 г. нумерация выпусков журнала изменена.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Е.В. Карчагину по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис»,
подписной индекс **Е 29507**.
*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного насле-
дия. ISSN 1994-0351, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолгГТУ по адресу:
<https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/seriya-stroitelstvo-i-arkhitektura/>

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2023. Выпуск 3-4(92)**

Корректор *Р. А. Жулите*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*
Информационно-библиографическое обслуживание *Е. В. Подшивалина*

Дата выхода в свет 31.10.2023. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная
Уч.-изд. л. 12,5. Усл. печ. л. 24,1. Тираж 500 экз. Заказ № 133

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Типография ИАиС

Адрес издателя: 400005, г. Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 28
Адрес типографии: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1